

UNDERSÖKNINGAR
ÖFVER
DEN ELEKTRISKA LJUSBÅGEN.

AKADEMISK AFHANDLING,
SOM
MED VEDERBÖRLIGT TILLSTÅND
FÖR ERHÅLLANDE AF FILOSOFISK DOKTORSGRAD VID LUNDS UNIVERSITET
TILL OFFENTLIG GRANSKNING FRAMSTÄLLES
Å FYSISKA LÄROSALEN LÖRDAGEN DEN 12 MAJ 1894 KL. 10 F. M.

AF
GUSTAF GRANQVIST, SM.,
FIL. LIC., AMANUENS VID FYSISKA INSTITUTIONEN.

(AFTRYCK UR KONGL. FYSIOGRAFISKA SÄLLSKAPETS I LUND HANDLINGAR, B. 5.)

LUND 1894.
E. MALMSTRÖMS BOKTRYCKERI.

Inledning.

Den elektriska ljusbågen bildas, som bekant, om man låter de två poltrådarna från ett starkt galvaniskt batteri eller en dynamomaskin beröra hvarandra, och derefter, sedan en elektrisk ström uppkommit i den slutna ledningen, något aflägsnar poltrådarna från hvarandra. Ändarne af dessa blifva härvid upphettade till en betydlig temperatur och förgasas. Mellan dem synes en starkt lysande äggformig kärna af glödande gas, den elektriska ljusbågen.

Enligt QUETELET ¹⁾ skall CURTET år 1802 vara den förste, som iakttog detta fenomen. Sitt namn har emellertid ljusbågen fått efter DAVY, som först närmare studerat båglijuset. Vid sina undersökningar öfver den elektriska kolljusbågen använde DAVY ett batteri af ända till 2000 koppar-zink element och erhöll ljusbågar af 11 cm. längd i luft samt 18 cm. i lufttomt rum.

Efter DAVY har DESPRETZ ²⁾ gjort försök med kolljusbågar och funnit, att maximilängden af en ljusbåge, som underhålles af ett galvaniskt batteri, växer hastigare än antalet element, om dessa äro seriekopplade. Sålunda erhöll han med 100 BUNSENS element en båge, som var fyra gånger större än den, som bildades af 50 element; med 200 element erhöles en båge, som var 3 gånger större än med 100 element. 600 element gäfvö en båge, som var $7\frac{1}{2}$ gånger större än med 100. Voro elementen deremot kopplade bredvid hvarandra, växte maximibåglängden långsammare än antalet element.

Såväl dessa undersökningar som de, hvilka senare blifvit gjorda, visa att i ljusbågen förefinnes en stor energiabsorption. De undersökningar, som på senaste tider blifvit gjorda öfver ljusbågar, afse hufvudsakligen förklaringen af denna energiabsorption. Man har sålunda sökt förklara denna dels genom antagandet af ett stort elektriskt ledningsmotstånd hos den glödande gasen i bågen dels ock genom uppträdandet af en elektromotorisk motkraft. Svårigheten, att vid mätningarne kunna skilja dessa båda storheter från hvarandra, har förorsakat, att man uppställt flera teorier för förklaringen af det såväl i teoretiskt som i praktiskt intresse ytterst vig-

¹⁾ QUETELET, Fortschritte d. Physik 1850 och 1851, p. 714.

²⁾ DESPRETZ, Berl. Ber. 1849, p. 286; Fortschritte d. Physik 1850 och 1851, p. 716.

tiga förloppet i den elektriska ljusbågen. Här nedan skola vi gifva en kort öfversigt öfver de viktigaste undersökningarne.

Det låg naturligtvis närmast till hands att förklara den stora energiförbrukningen i bågen och det deraf härrörande potentialfallet såsom en följd af motståndet i bågen. Undersökningar gjordes därför först öfver motståndet dels med elektroder af olika ämnen och dels med olika båglängder. Dylika undersökningar hafva gjorts af MATTEUCCI och EDLUND.

MATTEUCCI ¹⁾ insatte i en ledning från 60 Groves element en voltameter och den apparat, som användes för att erhålla ljusbågen. Till elektroder använde han kol jemte flera metaller. Bågens längd hölls under försöken konstant (3 m.m.), och den på en minut i voltametern utvecklade knallgasen uppmättes. Derefter kortslöts bågen, och den nu utvecklade knallgasen uppmättes. Af dessa observationer kunde han erhålla en föreställning om motstånden hos ljusbågar af olika ämnen. Det visade sig, att detta motstånd var mycket olika, då olika metaller användes som elektroder. Någon noggrann uppmätning af motstånden tilläto emellertid ej MATTEUCCIS observationer.

Mera omfattande undersökningar öfver motståndet i ljusbågen hafva gjorts af EDLUND ²⁾. Särskildt har han sökt bestämma motståndet vid olika båglängder. För detta ändamål lät han den elektriska strömmen från ett batteri genomgå ett kopparvitriolreostat samt en FOUCAULTS lampa. I en biledning var dessutom insatt en tangentboussole. I den FOUCAULTSKA lampan användes som elektroder dels kolstänger dels olika metallstänger. Vid försöken förfor EDLUND på följande sätt. Först lät han mellan elektroderna en ljusbåge bildas, hvilkens längd uppmättes samtidigt med att strömstyrkan observerades. Derefter bragtes elektroderna i direkt beröring med hvarandra, och så stort motstånd i kopparvitriolreostaten infördes, att strömstyrkan blef den samma som förut. Det i reostaten inskjutna motståndet var då lika med motståndet i ljusbågen.

Om vi med l beteckna längden af ljusbågen och med r motståndet i densamma så fann EDLUND att

$$r = a + bl,$$

der a och b voro för samma elektroder vid samma strömstyrka och samma elektromotoriska kraft hos batteriet konstanter. För elektroder af olika ämnen voro konstanterna a och b mycket olika. Hvad konstanten a beträffar, var den till sitt värde betydligt större än b samt i det närmaste omvänt proportionel mot strömstyrkan. Konstanten b minskades äfven vid tilltagande strömstyrka men betydligt hastigare än a .

Motståndet i bågen kunde således uttryckas medelst tvenne termer, hvaraf den ena var oberoende af båglängden, och således måste uppfattas såsom något slags

¹⁾ MATTEUCCI, Ann. de Chim. et de Phys. (3) 32, p. 350, 1851; Fortschritte d. Physik, 1850 och 1851, p. 715.

²⁾ EDLUND, Pogg. Ann. 131, p. 586, 1867.

öfvergångsmotstånd, då deremot den andra var proportionel mot båglängden och sålunda betecknade ett motstånd i vanlig mening. Det elektriska förhållandet i ljusbågen var sålunda analogt med förloppet i elektrolyter, der det skenbara motståndet äfvenledes kan uttryckas på ofvannämnda sätt. På samma sätt som den konstanta termen i motståndet der förklaras genom antagandet, att i elektrolyten elektriskt arbete förbrukas vid den kemiska sönderdelningen, sökte EDLUND här förklara den konstanta termen såsom härrörande från ett arbete i bågen.

Då en elektrisk ström går öfver från den ena elektroden till den andra i en ljusbåge, öfverför den materia såväl från anoden till katoden som tvärtom. Om elektroderna äro af samma natur och af samma dimensioner är materievandringen från anoden störst. Nu menar EDLUND, att för att sönderslita elektroderna behöfves ett visst arbete, som han kallade sönderslitningsarbete och som tages från den elektriska energin. Härigenom förklaras den konstanta termen i motståndet. Vidare antog EDLUND att detta sönderslitningsarbete åtföljes af en stor värmeutveckling, hvarigenom den höga temperaturen på elektroderna förklaras.

I likhet med förhållandet vid elektrolyter skulle alltså enligt EDLUNDS förklaring det skenbara konstanta motståndet i ljusbågen härröra från en elektromotorisk motkraft. Om vi med ρ och ε beteckna motståndet och elektromotoriska kraften i ledningen och batteriet vid EDLUNDS observationer, så är, om vi anse motståndet i bågen såsom ett vanligt motstånd,

$$I = \frac{\varepsilon}{\rho + a + bl}$$

Finnes i bågen åter en elektromotorisk kraft e , så kunna vi skriva

$$I = \frac{\varepsilon - e}{\rho + bl}$$

Båda formlerna äro identiska för $e = aI$. Den konstanta termen multiplicerad med strömstyrkan gifver alltså den elektromotoriska motkraften. Vid sina undersökningar fann EDLUND, att värdet på aI var konstant, så vida ej elektromotoriska kraften i batteriet var alltför liten, ett förhållande, som fullkomligt öfverensstämmer med förhållandet vid elektrolyter. Vid olika elektroder var aI d. v. s. den elektromotoriska motkraften mycket olika. Sålunda fann han för

hårdt kol	$e = 5,15$
batterikol	$e = 5,48$
koppar	$e = 4,58$
messing (37 % Zn)	$e = 2,86$
silfver (10 % Cu)	$e = 2,50$

Som enhet för den elektromotoriska kraften är här den kraft vald, som för ett motstånd lika med en skaldel i kopparvitriolreostaten åstadkom i tangentboussole ett utslag af 45° .

EDLUND har äfven medelst en direkt metod sökt påvisa den elektromotoriska motkraften ¹⁾. Den elektriska ljusbågen upphör ej i samma ögonblick, som ström-

¹⁾ EDLUND. Pogg. Ann. 134, p. 280, 1868.

men afbrytes, utan qvarstår någon tid efter strömöppningen, desto längre ju större intensitet strömmen har. EDLUND anser nu, att, så länge ljusbåge finnes, så länge pågår sönderslitningsarbetet. Detta upphör således ej i samma ögonblick, som strömmen afbrytes utan fortfar någon tid derefter. Om man nu, menar EDLUND, efter strömafbrytningen, medan ljusbågen är qvar, förenar båda elektroderna i bågen genom en särskild ledning, kommer till följd af den elektromotoriska motkraften en ström att genomgå ledningen och bågen.

Vid försöket förfor EDLUND på följande sätt. Den ena elektroden förbands med den positiva polen till ett batteri om 26 BUNSENS element och den ena polen till en magnetometer. Medelst en qvicksilfvervippa kunde sedan antingen den negativa polen till batteriet eller den återstående polen till galvanometern förbindas med den andra elektroden. Tiden mellan batteriströmmens afbrytning och galvanometerledningens slutning uppskattade EDLUND till mindre än $\frac{1}{80}$ sek. Sedan nu en båge erhållits mellan elektroderna, omlades vippan. EDLUND fick då ett utslag på galvanometern om 40 skaldelar, då kolstänger användes som elektroder.

Derefter insatte han i magnetometer-ledningen en nysilfvertråd (18,3 fot) och förfor på samma sätt som förut. Härvid erhöles ett utslag af 34 skaldelar. Ur dessa observationer beräknade EDLUND motståndet i bågen och magnetometern. Låt e vara elektromotoriska kraften i bågen, B motståndet i bågen och magnetometern samt ρ motståndet i nysilfvertråden, så är

$$\frac{e}{B} : \frac{e}{B + \rho} = 40 : 34.$$

Härur erhålles $B = 5,67\rho$.

Vid ett annat försök var anordningen med magnetometern och vippan förändrad. Vid ena läget af vippan gick en ström från ett batteri om 30 BUNSENS element genom elektroderna och bildade en båge mellan dem. Vid vippans omkastning inkopplades i ledningen magnetometern, så att strömmen gick från ena batteripolen genom bågen och magnetometern till den andra batteripolen. Vid magnetometerns införande i ledningen inkom så stort motstånd, att bågen slocknade. Då emellertid släckningen af bågen ej försiggick ögonblickligt, förefans alltid bågen någon tid efter magnetometerns inkoppling. Den strömstyrka, som aflästes på magnetometern, var då proportionel mot $\frac{\varepsilon - e}{R + B}$, der ε är elektromotoriska kraften och R motståndet i batteriet. Vid ett försök erhöles EDLUND på detta sätt ett utslag på 64 skaldelar. Jemföres denna strömstyrka med den, som erhöles förut, då endast ljusbågen och magnetometern voro i ledning med hvarandra, så få vi

$$\frac{e}{B} : \frac{\varepsilon - e}{R + B} = 40 : 64$$

eller då genom försök utröntes att $R = 1,7\rho$ och $B = 5,67\rho$,

$$\frac{e}{5,67\rho} : \frac{\varepsilon - e}{(1,7 + 5,67)\rho} = 40 : 64$$

Härur erhålles $e = 0,32\varepsilon$. Elektromotoriska kraften i ljusbågen mellan kolelektroderna motsvarade alltså elektromotoriska kraften i 9,7 BUNSENS element.

Vid tvänne andra försöksserier med batteri om 50 BUNSENS element erhöles den elektromotoriska kraften lika med den i 12,9 och 15,2 BUNSENS element. Vid försök med silfverelektroder kunde EDLUND emellertid ej direkt påvisa någon elektromotorisk kraft. Med andra ämnen till elektroder har ej ofvanstående försök gjorts.

För att vederlägga den uppfattningen, att den i ljusbågen förekommande elektromotoriska kraften skulle kunna vara af termoelektriskt ursprung beroende på den stora temperaturdifferensen mellan elektroderna, gjorde EDLUND några försök, hvar vid såväl den negativa som positiva elektroden upphettades medelst en blästerlampa ¹⁾. Om temperaturdifferensen mellan kolen minskades, borde naturligtvis utslaget i magnetometern efter strömafbrytningen, sedan magnetometerens poler förbundits med elektroderna, minskas under förutsättning, att motståndet i bågen ej förändras. Detta menar EDLUND beror hufvudsakligen, om icke uteslutande, på mängden och beskaffenheten utaf den materia, som i bågen öfverföres från den ena elektroden till den andra, och ingalunda på gasens temperatur. Vid upphettning såväl af den negativa som positiva kolelektroden ökades utslaget. Deraf drager EDLUND den slutsatsen, att den af honom observerade elektromotoriska kraften i bågen ej är af termoelektriskt ursprung.

Genom dessa undersökningar ansåg EDLUND sig hafva bevisat, att i ljusbågen förefans en elektromotorisk motkraft, som inom vissa gränser var oberoende af intensiteten och elektromotoriska kraften hos den ström, som åstadkom ljusbågen. Storleken af denna kraft beräknade EDLUND till omkring 39 volt vid kolelektroder. Vid metallektroder var den, såsom vi förut sett, vida mindre och aftog i samma mån som smältpunkten för de olika metallerna.

Det är då tydligt, att för att åstadkomma en ljusbåge behöfves en elektromotorisk kraft större än motkraften i bågen. EDLUND har äfven gjort undersökningar deröfver ²⁾. Från ett batteri, hvars ström åstadkom en ljusbåge, borttog EDLUND det ena elementet efter det andra ända tills det var omöjligt, att med de återstående elementen åstadkomma en ljusbåge. Elektromotoriska kraften hos de återstående elementen borde då vara i det närmaste lika med den förut funna elektromotoriska motkraften. Det visade sig emellertid, att så ej var förhållandet. En båge kunde bildas med en elektromotorisk kraft, som var vida mindre än den förut observerade motkraften; men å andra sidan kunde ej någon båge erhållas, om elektromotoriska kraften hos batteriet understeg ett visst värde olika för olika elektroder. Sålunda behöfdes för att underhålla en båge af:

kolelektroder	25 BUNSENS element
koppar och messing elektr.	20 » »
silfver elektroder	12 » »

EDLUNDS observationer lemna emellertid det spörsmålet obesvaradt, om hela den i motståndet erhållna konstanta termen utgöres af en elektromotorisk kraft eller om endast en del deraf är att tillskrifva en dylik och resten ett öfvergångsmotstånd.

¹⁾ EDLUND, Pogg. Ann. 134, p. 280, 1868.

²⁾ EDLUND, Pogg. Ann. 133, p. 353, 1868.

Det var därför nödvändigt att undersöka elektromotoriska kraften och motståndet äfven medelst andra metoder än EDLUNDS. Försök i den vägen hafva gjorts af V. VON LANG och ARONS.

V. VON LANG har gått tillväga på följande sätt ¹⁾. I strömledningen från ett batteri om ett jemnt antal element voro tvenne bågglampor insatta. Då batteriet och bågglamporna voro i verksamhet, uppsöktes de två puukter i strömledningen, der potentialen var noll. Den ena af dessa punkter kommer då att ligga mellan bågglamporna i den yttre ledningen, och den andra i batteriet mellan n -te och $(n + 1)$ -sta elementet, under förutsättning att antalet element är $2n$. Dessa båda punkter för-enades genom ledningstrådar med hvar sitt af tvenne närliggande hörn i en Wheatstones bryggkombination så, att batteriet och lamporna kommo att utgöra den ena sidan i paralellogrammen. Motståndet i denna sida kommer då att bli fjerdedelen af motståndet i batteriet och lamporna med dertill hörande ledningar. För öfrigt var den Wheatstoneska bryggan anordnad på vanligt sätt.

Vid försöket tillvägagick VON LANG på följande sätt. Ljusbågarne i båda lamporna gjordes, så vidt möjligt var, lika långa. På en galvanometer i batteriledningen aflästes strömstyrkan i ampère och motståndet i batteriledningen bestämdes. Der-efter insattes i stället för ljusbågarne så stort motstånd, att strömstyrkan blef den samma som förut, och motståndet i ledningen bestämdes nu. Låt w_1 vara motståndet i hela batteriledningen med lamporna då dessa brunno och w_2 motståndet sedan samt ε och e elektromotoriska kraften i batteriet och en af ljusbågarne. Då strömstyrkan I i båda fallen är lika, så få vi

$$I = \frac{\varepsilon - 2e}{w_1} = \frac{\varepsilon}{w_2}$$

$$\text{eller } e = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{w_2} (w_2 - w_1) = \frac{1}{2} I (w_2 - w_1).$$

VON LANG undersökte på detta sätt kol- och kopparelektroder. För kolelektroder erhöles $e = 36,94$ volt och för kopparelektroder $e = 27,60$ volt.

För att undersöka, om något öfvergångsmotstånd finnes, uppmättes vid en kol-ljusbåge potentialskilnaden mellan kolelektroderne för olika båglängder. Låt p vara potentialskilnaden samt l och i båglängden och strömstyrkan, så är $p = a + bli$, der a och b äro konstanter.

Vid sina försök erhöil VON LANG $a = 35,07 \pm 1,34$ volt.

Detta värde på a öfverensstämmer i det närmaste med värdet på e , så att något öfvergångsmotstånd således ej skulle finnas.

ARONS ²⁾ har med någon förändring använt vid sina undersökningar öfver motståndet och elektromotoriska kraften i ljusbågen den af COHN föreslagna anordningen för bestämmandet af motståndet i elektrolyter. I den ena sidan af en Wheatstones bryggkombination finnes ett accumulatorsbatteri, ett variabelt motstånd samt ljusbågen. I de tre öfriga sidorna funnos lämpliga motstånd. Den ena diagonalen

¹⁾ V. VON LANG, Wied. Ann. 26, p. 145, 1885; 31, p. 384, 1887.

²⁾ ARONS, Wied. Ann. 30, p. 95, 1887.

innehåller den sekundära spiralen till en induktionsrulle, den andra diagonalen den fasta trådrullen i en dynamometer samt en galvanometer. Den rörliga trådrullen i dynamometern var förbunden med en sekundär trådspiral till en annan induktionsrulle, hvars primära spiral jemte den primära spiralen till det förra induktoriets utgjorde en sammanhängande ledning tillsammans med några element och afbrytningsinrättning.

ARONS lät nu strömmen från accumulatorerna bilda en ljusbåge och reglerade motståndet så, att induktionsströmmen i bryggan blef noll. Derefter kortslogs bågen, och så stort motstånd infördes, att dynamometern åter visade på nollpunkten. Vid båda dessa tillfällen hade galvanometerutslaget observerats. Antag att galvanometern i första fallet visat α skaldelar och i senare β så är $\varepsilon - e = \alpha f(w)$ och $\varepsilon = \beta f(w)$, der $f(w)$ är en bestämd funktion af samtliga motståndet. Vi få då $\frac{\varepsilon - e}{\varepsilon} = \frac{\alpha}{\beta}$, hvarur e bestämmes.

Till följd af en del ogynsamma omständigheter kunde emellertid ej ARONS göra mer än tvänne observationer. De företogs båda med kolelektroder och som värde på e erhöles 40,6 och 39,6 volt. Strömstyrkan och motståndet i bågen under de båda observationerna voro respektive 3,4 och 4,1 ampère samt 2,1 och 1,6 ohm.

Enligt dessa undersökningar skulle det således ej vara något öfvergångsmotstånd i bågen.

Bestämningar öfver storleken af den elektromotoriska kraften och motståndet i ljusbågen hafva dessutom gjorts af FRÖLICH ¹⁾ PEUKERT ²⁾, CROSS och SHEPARD ³⁾, NEBEL ⁴⁾, v. LANG ⁵⁾ och UPPENBORN ⁶⁾. Vid alla dessa undersökningar har medelst en voltmeter potentialdifferensen bestämts mellan elektroderna vid olika båg-längder. Ur den ofvan anförda formeln $p = a + bi$ har elektromotoriska kraften a och motståndet b beräknats.

Med undantag af v. LANG hafva alla dessa experimentatörer undersökt kolljusbågar. v. LANG har deremot undersökt en del metalljusbågar och erhållit för strömstyrkor mellan 4 och 5 ampère följande värden på a och b .

	a i volt	b i ohm	T
<i>Pt</i>	27,41 ± 1,16	1,49 ± 0,19	1800 — 2000
<i>Fe</i>	25,03 ± 2,16	0,70 ± 0,06	1600 — 1800
<i>Ni</i>	26,18 ± 2,95	0,77 ± 0,13	1450 — 1600
<i>Cu</i>	23,86 ± 1,33	0,67 ± 0,04	1100 — 1200
<i>Ag</i>	15,23 ± 0,45	0,96 ± 0,06	914 — 1040
<i>Zn</i>	19,86 ± 2,27	0,56 ± 0,28	400 — 433
<i>Cd</i>	10,28 ± 3,38	2,56 ± 1,27	315 — 320

¹⁾ FRÖLICH, Elekt. Zeitschr. 1883, p. 150.

²⁾ PEUKERT, Zeitsch. f. Elekt. 1885, p. 111.

³⁾ CROSS och SHEPARD, Telegr. I. and Electrical Review, Bd. 19, p. 298, 321.

⁴⁾ NEBEL, Centralbl. f. Elektr. 1886, p. 619.

⁵⁾ v. LANG, Wied. Ann. 31, p. 384, 1887.

⁶⁾ UPPENBORN, Centralbl. f. Elektr. 1888, p. 102.

Af särskildt intresse äro dessa undersökningar, då de visa, att elektromotoriska kraften hos metalljusbågar ändrar sig med metallens smältpunkt. Ju högre smältpunkten ligger desto större är elektromotoriska kraften. Endast silfver gör härvid undantag. För öfversigtens skull har jag i 4:de kolumnen under rubriken *T* angifvit smältpunkten för metallerna i fråga.

FRÖLICH har vid sina undersökningar funnit, att potentialdifferensen mellan kolelektroder mellan 4 och 120 ampère kan uttryckas

$$p = 39 + 1,8l \text{ volt,}$$

der *l* är båglängden i m.m.

Af de öfriga undersökningarne framgår, att kolelektrodernas temperatur är af det största inflytande på elektromotoriska kraften. Ju större diameter man använder hos elektroderna, och ju bättre man sörjer för, att elektroderna få afkylas, desto mindre blir i allmänhet elektromotoriska kraften. Å andra sidan synes denna ökas, om man antingen omgifver elektroderna med ett för värme dåligt ledande ämne eller medelst t. ex. en blästerlampa upphettar dem. Härvid är anoden känsligast för en temperaturnedsättning och katoden för en temperaturhöjning.

Hvad konstanten *b* beträffar aftager den vid tilltagande strömstyrka. Huruvida detta äfven är förhållandet med *a* synes ej vara tillräckligt utredt. Enligt CROSS och SHEAPARD skulle äfven elektromotoriska kraften i bågen mellan 5 och 10 ampère aftaga vid tilltagande strömstyrka. Enligt NEBEL deremot synes elektromotoriska kraften tilltaga mellan strömmar från 10 till 24 ampères. För större öfversigts skull skall jag här nedan meddela NEBELS samt CROSS och SHEAPARDS undersökningar

	Diam. i m.m.	<i>i</i> = 5	7	8	10	12	14	16	18	20	24
CROSS O. SHEAPARD	?	$a = 40,2$ $b = 2,1$	40,1 1,5	39,6 1,6	37,5 1,6	—	—	—	—	—	—
NEBEL	10	$a =$	—	—	—	39,3	39,4	39,2	39,2	—	—
		$b =$	—	—	—	2,2	2,0	2,0	1,8	—	—
	12	$a =$	—	—	—	35,2	—	35,1	—	38,0	38,6
		$b =$	—	—	—	2,6	—	1,4	—	1,9	2,1
	14	$a =$	—	—	30,7	32,4	33,8	34,1	—	34,4	34,9
		$b =$	—	—	3,6	2,8	2,3	2,8	—	2,1	1,9

Platsen för denna elektromotoriska motkraft har man att söka såväl vid elektricitetens öfvergång från anoden till bågen som från bågen till katoden. På båda dessa ställen finnes ett plötsligt potentialfall. Undersökningar häröfver hafva gjorts bland andra af LUGGIN och LECHER.

LUGGIN ¹⁾ använde för detta ändamål en voltmeter, hvars ena pol förbands med den ena elektroden och den andra med ett smalt kolstift, som infördes i ljusbågen.

¹⁾ LUGGIN, Wien. Ber. 98, p. 1192, 1889.

LECHER ¹⁾ använde en elektrometer i stället för voltmetern. Båda kommo till samma resultat. Vid öfvergången från anoden till bågen funno de ett potentialfall på cirka 25 à 35 volt. I sjelfva bågen deremot varierade ej potentialen med något större belopp. Vid öfvergången från bågen till katoden sjönk potentialen med cirka 10 à 4 volt.

Alla dessa försök synas gifva otvetydigt vid handen tillvaron af en elektromotorisk kraft i ljusbågen. Emellertid hafva på senare tider de af EDLUNDS försök, som afse att påvisa den elektromotoriska kraften efter strömmens afbrott, omgjorts, hvarvid man kommit till resultat helt motsatta EDLUNDS. Dessa försök hafva utförts af LUGGIN, LECHER och STENGER.

Anordningen vid LUGGINS undersökning var densamma som vid EDLUNDS ²⁾. I stället för qvicksilfvervippan hade han dock en fjäder, som, då den nedtrycktes mot ett kontaktställe, slöt strömmen från ett accumulatorsbatteri och bildade en ljusbåge. Då fjädern släpptes, afbröts strömmen och en ledning erhöles medelst bågen och en galvanometer. Ehuru tiden mellan strömmens afbrytning och galvanometerledningens slutande var vida mindre än i EDLUNDS försök, erhöles LUGGIN endast ett litet utslag på galvanometern, som han uppskattade till 0,3 volt. Tiden mellan strömafbrutningen och galvanometerens tillkoppling uppskattades till 0,005 sekund.

LECHER lät strömmen från en shunt-dynamo genomgå en galvanometer och en ljusbåge ³⁾. I galvanometern fanns ett hinder, så att magnetnålen endast kunde vridas i en riktning. Den direkta strömmen åstadkom på detta sätt ej någon vridning på nålen. Kortslöts nu dynamon, så sjönk strömstyrkan till noll och ljusbågen slocknade. Fanns i bågen någon elektromotorisk kraft, skulle denna då åstadkomma ett utslag i galvanometern. LECHER erhöles ej något dylikt utslag.

STENGERS metod är en fullkomning af LECHERS ⁴⁾. I ledningen från en SCHUCKERTS shunt-dynamo insattes en tangentboussole, fyra accumulatorer samt ljusbågen. Tangentboussole var försedd med ett hinder alldeles som i LECHERS försök. Då bågen brann, laddades accumulatorerna. Vid kortslutning af dynamon erhöles ett utslag på tangentboussole, som för olika strömstyrkor och båglängder varierade mellan 11° och 127°. Borttogos accumulatorerna, erhöles ej något utslag.

Utaf dessa försök drager STENGER emellertid den slutsatsen, att någon elektromotorisk kraft ej finnes i ljusbågen. Mot EDLUNDS försök att påvisa den elektromotoriska kraften efter strömafbrutningen har gjorts den invändningen, att hans tillvägagångssätt varit allt för kompliceradt och alltså ej erbjudit tillräcklig garanti för frånvaron af felkällor. Hvad v. LANGS och ARONS metoder beträffar, har STENGER i hufvudsak mot dem anmärkt, att de förutsätta ohmska lagen såsom giltig vid elektricitetens gång genom gaser.

¹⁾ LECHER, Wied. Ann. 33, p. 609, 1888.

²⁾ LUGGIN, Wien Ber. 98, p. 1192, 1889.

³⁾ LECHER, Wied. Ann. 33, p. 609, 1888.

⁴⁾ STENGER, Wied. Ann. 45, p. 33, 1892.

I ARONS metod finnes för öfrigt den förutsättningen, att motståndet i bågen är oberoende af strömstyrkan. Detta är emellertid genom FRÖLICH'S m. fleras undersökningar bevisadt vara origtigt. Då ARONS medelst sin metod ej gjort flera än tvenne bestämningar, torde äfven här föreligga ett otillräckligt antal observationer.

STENGER uttalar sig emellertid för den uppfattningen, att ett öfvergångsmotstånd finnes i bågen. Till denna åsigt sluter sig äfven S. THOMPSON, som förut antagit den stora energiförbrukningen bero på elektrodernas förgasning.

Mot LUGGINS försök kan man emellertid göra en invändning. Om man antager, att polarisationstillståndet i ljusbågen försvinner under en tid, som är mindre än den, som behöfves för att sluta galvanometerledningen efter strömafbrrottet, så bevisar LUGGINS negativa resultat ingenting. Äfven metoden med kortslutning af en shuntdynamo är heller ej fri från invändningar, då den förutsätter, att magnetismen genast efter kortslutningen försvinner i elektromagneten; ett förhållande, som man ej med säkerhet kan antaga.

LECHER uttalar sig ej för någon bestämd teori om det elektriska förloppet i ljusbågen, men gifver en möjlig förklaring öfver den konstanta termen i motståndet uti ljusbågens utbredande i rummet. Endast under den förutsättningen, att ljusbågen vid olika båg-längder alltid hade samma diameter utefter hela sin längd, borde motståndet vara proportionellt mot båg-längden. Då emellertid bågen har större diameter på midten än vid ändarne, så bör motståndet i bågen uttryckas enligt LECHER'S åsigt genom en konstant term och en proportionel mot båg-längden.

G. WIEDEMANN har i sin elektricitetslära framställt en annan tolkning af potentialskilnaden i ljusbågen ¹⁾. Enligt hans teori skulle den elektriska ljusbågen bestå af ett stort antal hastigt på hvarandra följande disruptiva urladdningar. Den fria spänningen på elektroderna måste alltid uppnå ett visst värde, innan materia och med den elektricitet öfvergår, som bringar materien i glödande tillstånd. Denna spänning måste då genom den elektromotoriska kraften i batteriet alltid på nytt efter hvarje urladdning åstadkommas.

För den händelse denna åsigt är riktig, måste emellertid dessa urladdningar försiggå mycket hastigt, då den på en vägg medelst en roterande spegel och lins projicierade bilden af bågen alltid visar sig sammanhängande. Likaledes har LECHER påvisat, att i en telefon, som förbindes med elektroderna, ej något ljud kan upptäckas.

LECHER har gjort flera undersökningar öfver denna teori ²⁾. Vid en af dem hade han förbundit de båda elektroderna med hvar sin beläggning på en kondensator. Emellan den ena beläggningen och ena elektroden var en 50 c.m. lång och $\frac{1}{20}$ m.m. tjock messingtråd införd. Denna var så uppfäst, att den vid sin förlängning kunde vrida en spegel. Med en skala och tub aflästes vridningsvinkeln hos spegeln. Om nu urladdningarne i bågen äro disruptiva, kommer kondensatorn att laddas och urladdas. Härvid kommer elektricitet att genomgå messingtråden, hvilken till följd häraf uppvärmes och förlänges.

¹⁾ G. WIEDEMANN, Elektricität. 4, p. 855, 1885.

²⁾ LECHER, Wied. Ann. 33, p. 609, 1888.

LECHER gjorde nu försök med olika elektroder. Endast då de negativa elektroderna voro af jern eller platina, kunde han observera någon vridning hos spegeln. Något bevis för WIEDEMANN'S teori kan emellertid ej denna undersökning vara, då den förutsätter fullkomligt homogena elektroder.

Inalles hafva vi alltså 4 teorier för förklaringen öfver energiabsorptionen i ljusbågen nämligen:

- 1) elektromotorisk motkraft,
- 2) disruptiva urladdningar,
- 3) öfvergångsmotstånd samt
- 4) bågens utbredande i rummet.

Till en början kan emellertid påpekas, att den första och andra teorien endast skenbart äro hvarandra olika. För EDLUND äro nämligen dessa båda fenomen af samma slag. Han antager äfven genom sitt sönderslitningsarbete, att urladdningarne på sätt och vis äro disruptiva. Enda skilnaden mellan dessa teorier är den, att EDLUND ingår i förklaringen öfver sjelfva förloppet.

Orsaken hvarför man uppställt de tvänne sista teorierna synes närmast varit den, att man ej lyckats påvisa någon elektromotorisk kraft i ljusbågen efter strömbrytningen.

Om emellertid en del af den elektriska energien till följd af en elektromotorisk motkraft direkt förvandlas till något annat arbete t. ex. sönderslitningsarbete, såsom EDLUND tänkte sig, så bör detta äfven upphöra på samma gång strömmen upphör och man bör sålunda ej kunna påvisa någon elektromotorisk motkraft efter strömbrytningen.

EDLUND har här tänkt på förhållandet vid elektrolyter, der polarisationstillståndet förorsakar en elektromotorisk motkraft. Härvid är dock den skilnaden, att denna motkraft förorsakas deraf, att sönderdelningsprodukterna lägga sig på elektroderna och der alstra en kontaktselektromotorisk kraft, som sedan kvarstår, så länge sönderdelningsprodukterna finnas på elektroderna.

Man kan därför ej på grund af LUGGINS, LECHER'S och STENGERS försök förneka tillvaron af en elektromotorisk kraft under strömmens gång i ljusbågen. Tvärtom synas v. LANGS och ARONS' undersökningar gifva vid handen tillvaron af en dylik.

Deremot hafva svårare invändningar gjorts mot sjelfva arten af det arbete EDLUND tänkt sig i ljusbågen. Vid sönderslitningsarbetet utvecklas, enligt EDLUND'S åsigt, värme. Om värmets här är equivalent med sönderslitningsarbetet och detta senare åter, som består i upphäfvandet af adhesionen, äfven uppfattas såsom ett mekaniskt arbete, så står denna teori i motsägelse till mekaniska värmeteorien. Huruvida EDLUND här tänkt sig en varmeutveckling equivalent med sönderslitningsarbetet eller ej, är mig ej bekant. Några undersökningar öfver förhållandet mellan

den elektriska energiabsorptionen och värmeutvecklingen i ljusbågen äro emellertid ej gjorda.

Enligt EDLUNS teori skulle elektriciteten fortledas i bågen genom de sönderslitna elektrodpartiklarne, hvilka härvid skulle blifva glödande. Man borde då emellertid erhålla ett kontinuerligt spektrum af bågen. Som bekant erhålles ett liniespektrum.

Jag öfvergår nu till de undersökningar, som jag sjelf företagit öfver den elektriska ljusbågen. Medelst en särskild anordning vid användandet af induktionsströmmar har jag erhållit en ganska god metod att i ljusbågen särskilja elektromotorisk kraft och ledningsmotstånd. Afdelning I innehåller en del undersökningar efter denna metod öfver den elektromotoriska kraften och ledningsmotståndet samt detta senares förändring med strömstyrkan och båg längden.

I afdelning II är förhållandet mellan den elektriska energiabsorptionen och värmeutvecklingen i ljusbågen bestämd.

I afdelning III har jag med en metod, der man med säkerhet vet, att ljusbågen existerar under mätningen, samt med en galvanometer utan sjelfinduktion undersökt, huruvida någon elektromotorisk kraft finnes i ljusbågen efter strömafbrrottet.

Den sista afdelningen innehåller en del undersökningar öfver den elektromotoriska kraften, ledningsmotståndet och bågkratrarne i kolljusbågar, som brinna i olika goda värmeledande gaser.

I. Elektromotoriska kraften och ledningsmotståndet i ljusbågen.

§ 1. Undersökningsmetoden.

Vid detta försök har jag i ljusbågen samtidigt uppmätt strömstyrkan, potential-differensen och ledningsmotståndet mellan elektroderna. Låt P vara potentialskillnaden, m motståndet samt i strömstyrkan, så är, om e betecknar den elektromotoriska motkraften,

$$Pi = mi^2 + ei$$

eller

$$e = P - mi$$

Hvad potentialdifferensen och strömstyrkan beträffar, hafva de på vanligt vis uppmäts medelst en SIEMENS' torsionsgalvanometer. Den största svårigheten har naturligtvis legat i att bestämma motståndet. Efter flera misslyckade försök har jag stannat vid följande anordning.

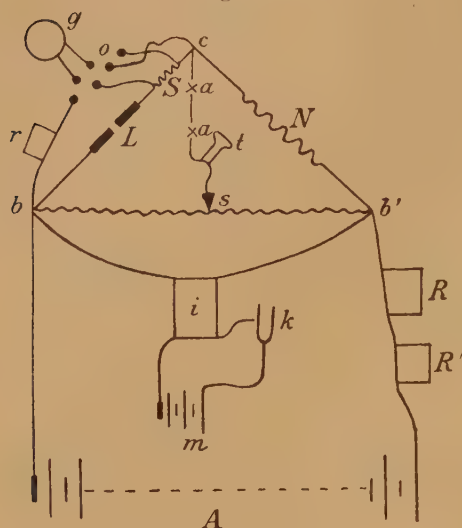
Den ena diagonalen i en Wheatstones bryggkombination innehåller ett accumulatorsbatteri samt i en biledning den sekundära spiralen till ett induktorium. Den andra diagonalen innehåller en telefon. I en af parallelogrammens sidor är ljusbågen insatt. I de 3 öfriga sidorna finnas lämpliga motstånd.

Den konstanta strömmen från accumulatorerna underhåller ljusbågen utan att åstadkomma något ljud i telefonen. Motståndet i två af parallelogrammens sidor varierades, så att induktionsströmmen gaf i telefonen ett tonminimum. På vanligt sätt har sedan motståndet beräknats.

Denna metod förutsätter dock, att ljusbågen skall brinna utan att gifva något ljud i telefonen. Då jag ej lyckats få metall-ljusbågar att brinna fullkomligt tyst, försökte jag en omändring i metoden på så sätt, att i stället för telefonen den fasta rullen i en elektrodynamometer insattas. Induktoriet var försedt med tvänne sekundära spiraler, af hvilka den ena förbands med den Wheatstoneska bryggkombinationen som ofvan, under det den andra var förbunden med den rörliga rullen i dynamometern. Det visade sig emellertid, att med de instrument, som för detta ändamål stodo till mitt förfogande, en betydligt mindre känslighet uppnåddes än med telefonen. Jag öfvergick därför till den ofvan nämnda anordningen

Fig. 1 gifver en schematisk framställning af anordningen. A är ett accumulatorsbatteri om 40 stycken serieställda accumulatorer. R och R' tvänne motstånd af hvilka R är variabelt. L är ljusbågen, N ett konstant motstånd och t telefonen.

Fig. 1.



I telefonbryggan äro dessutom tvänne glödlampor a inkopplade för att öka motståndet och hindra den konstanta strömmen från att förstöra telefonen. s är ett släpkontakt, som kan skjutas utes efter ledningen bb' , som består af en tunn järntråd upplindad på en träcylinder. Inalles var järntråden upplindad med 659 hvarf. Under denna fans en skala, på hvilken hvar 10:de hvarf var utprickadt, och hvars gradering gick från b till b' . Släpkontaktet hade en index, som löpte utes efter skalan.

i är induktoret, hvars sekundära spirals poler äro förbundna med järntråden i punkterna b och b' . mk är den primära

ledningen och innehåller nödiga element samt en stängaffel för strömmens afbrytning. För att ej vilseledas af ljudet från stängaffeln var denna uppställd i ett annat rum.

g är den siemenska torsions-galvanometern; S är ett motstånd på $\frac{1}{99}$ dels ohm; r ett på 999 ohm. Medelst en omkastare o kan galvanometers poler förbindas antingen med motståndet S eller med punkterna b och c . I förra fallet mätes strömstyrkan i ljusbågen, i senare fallet deremot potentialdifferensen mellan punkterna b och c .

Motståndet i galvanometern var 1 ohm. Värdet på ett utslag af en skaldel var ungefär 10^{-3} ampère. Då motståndet S var tillkoppladt motsvarade alltså ett utslag af en skaldel en ström af $(1 + 99) 10^{-3} = 0,1$ ampère i ljusbågen.

I ledningen $bLSc$ öfverskred motståndet i allmänhet ej 3 ohm. Man kan därför försumma detta i förhållande till motståndet r . Då b och c voro tillkopplade galvanometern motsvarade alltså ett utslag af en skaldel i galvanometern en potentialdifferens af $10^{-3} \cdot (1 + 99) = 1$ volt. Medelst galvanometern kunde med denna anordning strömmar till 17 ampère och potentialdifferenser till 170 volt uppmätas.

Elektrodena i ljusbågen stodo vertikalt. Den öfversta, som alltid var anod, stod fast. Den nedersta deremot kunde förskjutas vertikalt och var försedd med en millimeterskala. Medelst en index kunde förskjutningen afläsas.

Vid försöken har jag i allmänhet gått tillväga på följande sätt. Elektrodena vid L kortslötos och släpkontaktet s fördes tills tonminimum i telefonen inträffade. Om tonminimum ej var utprägadt, hvilket ofta hände, uppsöktes de punkter på hvardera sidan om tonminimum, der tonen var lika stark, och medium togs. Låt

α vara den skaldel, på hvilken indexen då visade, och N motståndet i sidan cb' . Motståndet x i ledningen $bLSc$ blir då vid kortsluten båge

$$x = \frac{\alpha}{65,9 - \alpha} N.$$

Derefter åtskildes elektroderna och en ljusbåge bildades. Låt motståndet nu vara X . Detta bestämdes på ofvan nämnda sätt och samtidigt dermed strömstyrkan i och potentialdifferensen p mellan punkterna b och c . Vi få då

$$e = p - Xi$$

samt motståndet m i ljusbågen

$$m = X - x.$$

§ 2. Förberedande bestämningar.

Innan de egentliga observationerna kunde företagas, måste bestämningar göras af:

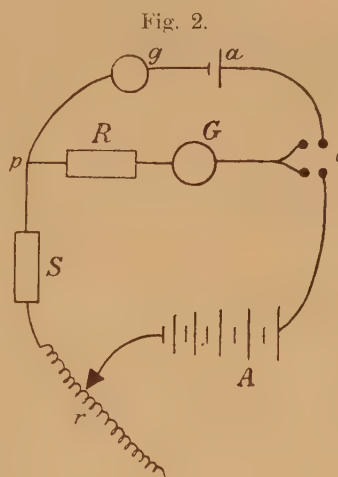
- 1) galvanometerfunktionen samt värdet af ett utslag af en skaldel i galvanometern uttryckt i ampère,
- 2) det konstanta ledningsmotståndet N i ohm samt
- 3) storleken af några oundvikliga fel i metoden.

1. För bestämningen af galvanometerfunktionen har jag använt följande anordning. G , se fig. 2, är galvanometern och R en motståndsetalon i ohm. A är ett accumulatorsbatteri om 5 accumulatorer, S en Siemens motståndsetalon och r ett variabelt motstånd. Medelst nyckeln o kunde ledningarna $pRGGo$ och $pgao$ tillkopplas; g är ett gälvanoskop och a ett accumulatorselement.

I reostaten R insattes olika motstånd och motstånden S och r reglerades, så att strömmen i grenen ga blef noll. Låt e beteckna elektromotoriska kraften i accumulatorn a , i strömstyrkan i ledningen RG samt R och G motstånden i reostaten och galvanometern, så är, då strömstyrkan är noll i ledningen ag ,

$$e = (R + G)i$$

Enligt uppgift från SIEMENS och HALSKE var motståndet i G vid 15° Cels. 1 ohm. Motståndet i ledningstrådarna från nyckeln o till galvanometern, reostaten och punkten p var enligt en föregående mätning af mig bestämdt till 0,0037 ohm. Om utslaget ω i torsionsgalvanometern är proportionellt mot strömstyrkan, så är



$$e = (R + 1,0037)k\omega,$$

der k är en konstant. Eller

$$\omega(R + 1,0037) = \frac{e}{k} = K,$$

der K är en konstant.

Observationerna gåfvo emellertid vid handen, att K aftog vid tilltagande strömstyrka. Med tillräcklig noggrannhet kunde man sätta $K = k - h\omega$.

Ur 39 observationer för ω mellan $9^{\circ},7$ och 160° samt för R mellan 200 och 11 ohm och för $e = 2$ volt (ung.) erhöles

$$\omega(R + 1,0037) = 1955,0 - 0,20\omega$$

Variationen i K berodde ej på någon förändring af elektromotoriska kraften i accumulatern. Jag hade nämligen anordnat observationsserien symmetriskt på så sätt, att jag i den sista delen af serien återvände till samma motstånd R som i den förra delen, och erhöles hela tiden samma utslag ω för samma motstånd R .

Deremot skulle förändringen i K kunnat förorsakas deraf, att ett fel på 0,2 ohm blifvit begånget vid bestämmandet af ledningsmotståndet i ledningarne till reostaten och galvanometern. Huruvida så var förhållandet, kunde undersökas genom att göra en ny observationsserie, men med en annan elektromotorisk kraft vid a . Antag nämligen, att vi vid användandet af en elektromotorisk kraft e vid a fått

$$\omega(R + 1,0037) = k - h\omega$$

samt vid förändringen af e till ε erhöles

$$\omega'(R' + 1,0037) = k_1 - h_1\omega'.$$

Är utslaget proportionelt mot strömstyrkan, och alltså ett fel af h ohm blifvit begånget vid bestämmandet af motståndet i ledningstrådarna, så måste $h = h_1$. Är så ej förhållandet, kunna vi sätta

$$i = \frac{e}{R + 1,0037}; \quad i_1 = \frac{\varepsilon}{R' + 1,0037}.$$

Elimineras $R + 1,0037$ och $R' + 1,0037$ mellan ofvanstående uttryck och

$$\omega(R + 1,0037) = k - h\omega$$

$$\omega'(R' + 1,0037) = k_1 - h_1\omega'$$

så få vi

$$\frac{\omega e}{i} = k - h\omega; \quad \frac{\omega' \varepsilon}{i_1} = k_1 - h_1\omega'.$$

För $i = i_1$ är $\omega = \omega'$ och alltså

$$\frac{\varepsilon}{e} = \frac{k_1 - h_1\omega}{k - h\omega}.$$

Då detta förhållande är oberoende af ω , så är

$$\frac{\varepsilon}{e} = \frac{k_1}{k} = \frac{h_1}{h}.$$

Vid a insattes 5 accumulatorer (10 volt ung.) och vid A 20 accumulatorer. Med samma förfaringssätt som förut erhöles jag ur 17 observationer

$$\omega'(R' + 1,0037) = 1004,6 - 1,03\omega'.$$

Då ε var ungefär 10 volt och e ungefär 2 volt, så är $\frac{\varepsilon}{e} = 5$ (ung.); ur ofvanstående värden på k , k_1 , h och h_1 få vi

$$\frac{k_1}{k} = 5,14; \quad \frac{h_1}{h} = 5,15.$$

Något fel i motståndsbestämningen förefans således ej.

2. Reduktionsfaktorn har jag bestämt medelst en silfvervoltameter på vanligt sätt. Strömmen lemnades från 20 accumulatorer, i hvilkas ledning 1000 ohm voro inskjutna. Under de olika försöken var strömmen så konstant, att någon nämnvärd förändring i utslaget ej kunde iakttagas.

Vid 3 efter hvarandra företagna mätningar erhöles

utslag	tid	utfäldt silfver
38 ^{0,4}	42 min.	0,113 gr.
38 ^{0,4}	43 »	0,1145 »
38 ^{0,5}	42 »	0,113 »

Ur dessa observationer har strömstyrkan i C. G. S. enheter beräknats och, sedan den dividerats med utslaget, erhållits

$$\frac{i}{\omega} = 1044. 10^{-7}$$

$$1034$$

$$1042$$

med. 1040. 10^{-7} , som gäller för $\omega = 38^{0,4}$.

Vid ett annat tillfälle användes 40 accumulatorer. Jag erhöi då

utslag	tid	utfäldt silfver
74,8	20 min.	0,106 gr.
75,0	22 »	0,116 »

samt härur $\frac{i}{\omega} = 1056. 10^{-7}$

$$1048.$$

med. 1052. 10^{-7} , som gäller för $\omega = 74,09$

Med dessa tvänne värden på $\frac{i}{\omega}$ och ω har jag beräknat e och ε ur formlerna

$$e = (k - h\omega)\frac{i}{\omega}; \quad \varepsilon = (k_1 - h_1\omega)\frac{i}{\omega}$$

och erhållit

$$\begin{aligned} e_1 &= 2,025 \text{ volt} & \varepsilon_1 &= 10,402 \text{ volt} \\ e_2 &= 2,041 & \varepsilon_2 &= 10,483 \\ e \text{ med.} &= 2,033 & \varepsilon \text{ med.} &= 10,4425. \end{aligned}$$

Insätts dessa värden på e och ε i equationerna

$$e\omega = (k - h\omega)i; \quad \varepsilon\omega = (k_1 - h_1\omega)i,$$

så erhålles efter reduktionen

$$i = 1039,9. 10^{-7} \omega + 1064. 10^{-11} \omega^2 \text{ cm.}^{1/2} \text{ g.}^{1/2} \text{ sec.}^{-1}$$

ur värdet på c , samt ur värdet på ε

$$i = 1039,9 \cdot 10^{-7} \omega + 1067 \cdot 10^{-11} \omega^2 \text{ cm.}^{1/2} \text{ g.}^{1/2} \text{ sec.}^{-1}$$

För beräkningen af strömstyrkan och potentialdifferensen har jag använt följande formler

$$i = 1039,9 \cdot 10^{-6} \omega + 1065 \cdot 10^{-10} \omega^2 \text{ ampère}$$

$$\text{och } p = 1039,9 \cdot 10^{-3} \omega + 1065 \cdot 10^{-7} \omega^2 \text{ volt.}$$

3. Det konstanta motståndet N bestod af en nysilfvertråd, ungefär 4 meter lång och 2 mm. i diameter. Motståndet i denna ledning har bestämts genom jämförelse med motståndet i en Siemens motståndsetalon.

Innan jag öfvergick till bestämmandet af motståndet i N , bestämde jag förhållandet mellan motståndet i galvanometern och motståndet i 1. $S. E.$ i reostaten. Dessa bestämningar afsågo egentligen att undersöka, om något större fel förefans i uppgifterna om dessas motstånd. Vid dessa bestämningar har den ofvan omnämnda bryggan användts.

Accumulatorerna och induktoriets fränkopplades, och i deras ställe insattes ett Bunsens element. I stället för telefonen och glödlamporna insattes ett galvanoskop.

Motståndet N borttogs och i stället insattes torsionsgalvanometern. Anordningarna vid L borttogos och i stället insattes motståndsetalonen, der 1. $S. E.$ var införd.

Jag erhöll då $\frac{1\Omega}{1S.E.} = 1,0723$; om galvanometern och motståndsetalonen bytte plats,

erhölls $\frac{1\Omega}{1S.E.} = 1,0659$. Medium af dessa bestämningar är 1,06905, då det beräknade

förhållandet är 1,06. Differensen uppgick alltså till omkring 0,9 %. Detta berodde med all sannolikhet derpå, att dessa bestämningar gjordes vid 18° C. Då enligt uppgift motståndet i galvanometern var 1 Ω vid 15° C. och motståndet i etalonen 1 $S. E.$ vid 20° C., så var alltså motståndet i galvanometern något för stort och i etalonen något för litet. Förhållandet mellan dessa motstånd borde därför vara något större än 1,06. Under förutsättning att motståndstillökningen för 1° C. i koppartråden i galvanometern är $3,88 \cdot 10^{-3}$ och i nysilfvertråden i etalonen är $0,28 \cdot 10^{-3}$, så borde förhållandet vara 1,07.

Motståndet N insattes nu i stället för galvanometern, och dess motstånd jämfördes med 1, 2, 3, 4, 5, $S. E.$ Ur 10 observationer, hvarvid under de 5 sista N och galvanometern hade bytt plats, erhöles som medium

$$N = 0,9092\Omega.$$

4. Det af mig vid dessa undersökningar använda accumulatorsbatteriet tillät en maximiström af omkring 17 ampère. För att ej strömmen i den parallelogramsida, der ljusbågen fans, skulle blifva alltför svag, var det därför nödvändigt att göra motståndet stort i sidorna bs och sb' . Dessa sidor bestodo därför af en tunn järntråd, ungefär 66 meter lång. Då denna naturligtvis ej utan stor olägenhet kunde spännas rak mellan de andra båda sidorna i parallelogrammen, hade jag vidtagit den ofvan nämnda anordningen med upplindningen af järntråden på en svarfvad träcylinder, som var ungefär 3 cm. i diameter.

Härvid tillkom dock den olägenheten, att sidorna bs och sb' blefvo behäftade med sjelfinduktion och alltså deras motstånd förändradt. Det var därför nödvändigt att företaga en undersökning öfver det inflytande, denna förändring förorsakade.

Låt i en Wheatstones bryggkombination de fyra parallelogramsidorna innehålla motstånden a , b , b' och a' . Dessa sidors potentialer på sig sjelfva må vara L_a , L_b , $L_{b'}$ och $L_{a'}$ respektive. Motståndet i den ena diagonalen beteckna vi med r , och dess potential på sig sjelf med L_r . Om diagonalerna äro conjugerade med hvarandra, så att $ab' = a'b$, och inga andra elektromotoriska krafter finnas i parallelogramsidorna och i diagonalen r än de, som uppstå till följd af sjelfinduktionen i dessa delar, så är strömstyrkan I vid tiden t i diagonalen r , då systemet genomfäres af en föränderlig ström ¹⁾,

$$I = \frac{a \left(L_b \frac{d\beta}{dt} - L_{b'} \frac{d\beta'}{dt} - L_r \frac{dI}{dt} \right) - b \left(L_a \frac{d\alpha}{dt} - L_{a'} \frac{d\alpha'}{dt} + L_r \frac{dI}{dt} \right)}{M},$$

der α , β , β' och α' äro strömintensiteterna i motstånden a , b , b' och a' samt

$$M = b(a + a') + r(a + b).$$

Om två af sidorna t. ex. a och b icke innehålla någon sjelfinduktionskoefficient, så äro $L_a = 0$ och $L_b = 0$. Villkoret för att $I = 0$ blir då

$$bL_{a'} \frac{d\alpha'}{dt} - aL_{b'} \frac{d\beta'}{dt} - (a + b)L_r \frac{dI}{dt} = 0$$

eller då $\frac{dI}{dt} = 0$ och $\alpha' = \beta'$

$$bL_{a'} - aL_{b'} = 0.$$

Då $ab' = ba'$, så kunna vi sätta

$$\frac{a'}{b'} = \frac{L_{a'}}{L_{b'}}.$$

För att alltså I skall vara noll, när $ab' = ba'$, fordras, att sjelfinduktionskoefficienterna i a' och b' skola vara proportionela mot motstånden derstädes.

Den på träcyllindern upplindade järntråden kunna vi betrakta som en solenoid och antaga dess tvärsnitt vara S , dess längd L och antalet hvarf n . Den kraftströmning, som går genom ett tvärsnitt, är då $4\pi \frac{n}{L} S$, under förutsättning att strömintensiteten är $= 1$. Släpkontaktet tänkes nu stå på en punkt så, att vi hafva α hvarf på ena sidan och $659 - \alpha$ hvarf på den andra. Sjelfinduktionskoefficienten i ena sidan blir då $4\pi \frac{n}{L} S \alpha$ och i den andra $4\pi \frac{n}{L} S (659 - \alpha)$. Förhållandet mellan dem blir $\frac{\alpha}{659 - \alpha}$. Då motståndet är lika i hvarje hvarf, inses, att detta äfven är förhållandet mellan motstånden i dessa sidor. Sjelfinduktionen borde alltså i detta fall ej inverka något på mätningarne.

¹⁾ Se MASCART et JOUBERT, Leçons sur l'Electricité et le Magnétisme. II, p. 385.

Jag har äfven sökt verifiera detta genom att med induktionsströmmar och telefon bestämma motståndet N genom en jämförelse med den ofvan nämnda Siemenska motståndsetalonen, hvilken var upplindad induktionsfri. Ur en observationsserie om 20 observationer, hvarvid motstånden 1, 2, 3, 4, 5 *S.E.* användes, erhöles $N = 0,9024\Omega$. Med konstant ström hade erhållits $N = 0,9092\Omega$. Någon olägenhet af sjelfinduktionen förefans således ej. Det första af dessa värden har användts vid beräkningen af motstånden i ljusbågen.

5, Då släpkontaktet s var stäldt på den punkt, der tonminimum inträffade, genomflöts likväl telefonbryggan af en del af den konstanta strömmen. Följden deraf blef den, att olika konstanta strömmar genomgingo sidorna bs och $b's$. Dessa blefvo då olika uppvärmda och det uppmätta förhållandet mellan deras motstånd ej öfverensstämmande med det verkliga.

Låt l vara längden af jerntråden, ξ och $l - \xi$ längden af tråden i sidorna bs och $b's$ vid 0° C. samt N motståndet i nickeltråden; vi sätta nu

$$\lambda = \frac{\xi}{l - \xi} \cdot N.$$

Om hela l har samma temperatur, så är λ motståndet i den sidan, der ljusbågen finnes.

Då strömmarne i ξ och $l - \xi$ hafva olika intensitet, så hafva dessa de olika temperaturerna θ och ϑ . Det verkliga motståndet λ_0 i den sida, der ljusbågen finnes, är då

$$\lambda_0 = \frac{\xi(1 + \alpha\theta)}{(l - \xi)(1 + \alpha\vartheta)} \cdot N$$

eller

$$\lambda_0 = \lambda \{1 + \alpha(\theta - \vartheta)\},$$

der α är tillökningen af motståndet på längdenheten för 1° C. hos jern.

För att bestämma kvantiteten $\theta - \vartheta$ använde jag en termostapel, som bestod af tvenne antimon-vismut element ställda mot hvarandra och så anordnade, att det ena kunde ställas på sidan bs och det andra på sidan sb' . Sjelfva lödningsställena voro öfverdragna med fernissa, så att strömmen i jerntråden ej kunde gå öfver i termoelementen. Dessa voro sedan förbundna med en galvanometer, hvares utslag iakttogos medelst tub och skala på vanligt sätt.

Medelst en särskild undersökning, der termoelementen stodo i hvar sin glasbägare med vatten och termometer, hade värdet af ett utslag på en skaldel bestämts. För värden på $\theta - \vartheta$ från 4° C. till 14° C. hade jag ur 8 observationer erhållit

$$\theta - \vartheta = 0,192 U,$$

då U är utslaget uttryckt i antalet skaldelar.

Jag gjorde nu följande försök:

Släpkontaktet ställdes ungefär midt på bb' , och på hvardera sidan om det termoelementen. Vid L lät jag en kolljusbåge bildas. Strömmen i den var 10 ampère. Galvanometern gjorde då ett utslag, som efter några minuter uppnådde sitt maximum, $U = 7,5$. Härur beräknas $\theta - \vartheta = 1^\circ,44$.

Vid ett annat försök påsläpptes strömmen från accumulatorerna, medan kol-elektroderna voro åtskiljda, utan att någon ljusbåge fanns mellan dem. Motståndet i denna sida var då oändligt stort. Härvid uppnådde $\theta - \vartheta$ sitt maximivärde. På samma sätt som ofvan erhöll jag $U = 9,0$ och alltså $\theta - \vartheta = 1^{\circ},73$.

Dessa äro de största värden, jag erhållit på $\theta - \vartheta$. Vid en serie försök, som jag under olika förhållanden gjort, erhöll jag betydligt mindre värden på $\theta - \vartheta$.

Då $\lambda_0 = \lambda \{1 + 0,0045(\theta - \vartheta)\}$ och $\theta - \vartheta$ ej uppgår till 2° , har jag icke anbragt någon korrektion för detta fel.

§ 3. Observationerna.

Vid dessa observationer hafva användts till positivt kol s. k. dochtkol om 20 mm. diameter, till negativt kol homogent kol om 11 mm. diameter. Alla af mig använda kol hafva varit af SIEMENS tillverkning.

Såsom ofvan är nämnt, kunde jag ej få metall-ljusbågar att brinna fullkomligt tyst, hvarför jag måst utesluta undersökningarne af dem. Per analogiam kan man emellertid sluta, att de kvalitativa förhållandena vid dem öfverensstämma med förhållandena vid kolljusbågen. Jag har äfven försökt att ersätta det positiva docht-kolet med ett homogent, men lyckades ej heller då erhålla fullt tysta ljusbågar.

Motståndet N , som vid alla nedan beskrifna observationer var fastlöst på sin plats i bryggkombinationen, var nedsänkt i en bägare med destilleradt vatten, i hvilket en termometer var nedsatt. Temperaturen hos motståndet N har vid de olika försöken varierat mellan 15° och 17° . Det fel, som berodde på osäkerheten vid bestämmandet af tonminimum, var större än korrektionen för temperaturändringen. Jag har därför ej anbragt denna korrektion.

Motståndet $m = X - x$ har bestämts på sätt, som ofvan är nämnt. För att bestämma båg längden har, omedelbart efter det tonminimum blifvit funnet eller, då potentialmätningar äfven blifvit gjorda, omedelbart efter dem, strömmen afbrutits och det negativa kolet skjutits upp, tills det berört det positiva. Det antal millimeter, som det negativa kolet härvid skjutits upp, har ansetts vara båg längden.

För att med säkerhet bestämma, när kolen berörde hvarandra, har jag använt följande metod. Då strömmen afbrutits och bågen slocknat, blir motståndet i den sida, der bågen varit, oändligt stort och i telefonen hördes då induktionsströmmarne mycket kraftigt. Sedan kolen skjutits mot hvarandra, så att de berörde hvarandra, blifver motståndet i denna sida deremot endast några få tiondedels ohm och ljudet i telefonen blifver då mycket svagt. På detta sätt kan man ytterst noga bestämma, när kolen beröra hvarandra. Detta var af stor vigt, ty jag hade funnit, att jag genom att trycka kolen olika hårdt mot hvarandra kunde få ett fel vid bestämmande af båg längden af ända till 0,4 mm.

Till följd af den höga temperaturen på kolelektroderna förlänga sig dessa. Sedan ljusbågen slocknat, sjunker temperaturen hos kolen och deras längd minskas. Den båglängd, som jag på ofvanstående sätt mätt, är derföre något längre än den verkliga båglängden. För att undersöka huru stort fel jag härvid kunde begå, lät jag en båge bildas med en ström af 10 ampère. Då bågen brunnit några minuter och kolen blifvit så uppvärmda, som de tycktes kunna blifva vid denna ström, afbröts strömmen och det negativa kolet sköts upp till dess telefonen tystnade. Sedan kolen afsvalnadt, kunde man i telefonen höra, att de ej längre berörde hvarandra. Jag kunde då uppskjuta det negativa kolet 0,2 mm., innan det blef tyst i telefonen.

Då jag emellertid vid dessa undersökningar ej användt högre strömstyrkor än 8,4 ampère och omedelbart efter strömafbrytningen skjutit upp det negativa kolet samt bestämt båglängden, har jag ansett, att felet vid båglängdsbestämningen blifvit så litet, att någon korrektion derför ej erfordrats.

Mellan hvarje försök hafva kolen filats plana.

För jemförelsens skull har jag bestämt elektromotoriska kraften och motståndet i ljusbågen äfven medelst mätning af potentialskilnaderna vid olika båglängder efter formeln $p = a + bi$. Vid de första observationsserierna bestämdes potentialskilnaden samtidigt med motståndsbestämningarne, på sätt som förut är antydt. Då det emellertid visade sig vara ganska svårt att hålla strömstyrkan konstant under hela den tid, som behöfves för dessa observationer, har jag vid de senare observationsserierna, sedan motståndsbestämningarne blifvit gjorda, särskildt bestämt potentialdifferensen mellan punkterna b och c för olika båglängder hos ljusbågen.

I nedanstående tabeller beteckna p potentialdifferensen, i strömstyrkan, l längden af ljusbågen i mm., X motståndet i den sida, der ljusbågen finnes, samt e elektromotoriska kraften i ljusbågen. a är den punkt på skalan, på hvilken släpkontaktet vid tonminimum visade. x är motståndet i sidan bc vid kortsluten båge. Om de öfriga tecknens betydelse se nedan.

Tab. I. $i = 4,18$ amp.; $x = 0,20$ ohm.

p	a	l	X	Xi	e
35	41	1,5	1,49	6,2	28,8
35	40,5	1,5	1,44	6,0	29,0
37,5	46	2,0	2,09	8,7	28,8
35	42	1,6	1,59	6,6	28,4
35	42	1,6	1,59	6,6	28,4
39	48	2,2	2,42	10,1	28,9
Med.					28,72

$$\rho = -0,75 \pm 0,09; \quad \lambda = 1,34 \pm 0,03;$$

$$a = 25,95 \pm 0,51; \quad bi = 5,84 \pm 0,29; \quad b = 1,40;$$

$$e_1 = 25,11 \quad ; \quad e - e_1 = 3,61$$

$$\rho i = 3,13$$

$$\text{Diff.} + 0,48$$

Tab. II. $i = 4,18$ amp.; $x = 0,20$ ohm.

p	α	l	X	Xi	e
31,5	42,5	1,5	1,64	6,9	24,6
—	48	2,1	2,42	—	—
31	42	1,5	1,59	6,6	24,4
36	48	2,3	2,42	10,1	25,9
34	46,5	2,0	2,17	9,1	24,9
—	42	1,5	1,59	—	—
37	51	2,4	3,11	13,0	24,0
33	45	1,8	1,95	8,2	24,8
Med.					24,77

$$\rho = -0,70 \pm 0,22; \quad \lambda = 1,38 \pm 0,12;$$

$$a = 21,90 \pm 0,41; \quad bi = 6,17 \pm 0,31; \quad b = 1,48;$$

$$e_1 = 21,06; \quad e - e_1 = 3,71$$

$$\rho i = 2,93$$

$$\text{Diff.} + 0,78.$$

Tab. III. $i = 4,18$ amp.; $x = 0,20$ ohm.

p	α	l	X	Xi	e
33	37	1,6	1,15	4,8	28,2
35	47,5	2,2	2,33	9,7	25,3
34	44	1,9	1,81	7,6	26,4
34	44	2,0	1,81	7,6	26,4
34	40	1,9	1,39	5,8	28,2
31	36	1,5	1,08	4,5	26,5
29	35	1,2	1,02	4,3	24,7
30	35	1,4	1,02	4,3	25,7
29	38	1,6	1,23	5,1	23,9
34	45	2,0	1,95	8,2	25,8
Med.					26,11

$$\rho = -1,07 \pm 0,23; \quad \lambda = 1,35 \pm 0,13;$$

$$a = 20,96 \pm 1,35; \quad bi = 6,56 \pm 0,77; \quad b = 1,57;$$

$$e_1 = 20,12; \quad e - e_1 = 5,99.$$

$$\rho i = 4,47.$$

$$\text{Diff.} + 1,52$$

Tab. IV. $i = 4,90$ amp.; $x = 0,16$ ohm.

p'	α	l	X	Xi	e
37,3	48	2,4	2,42	11,9	25,4
35,3	47	2,0	2,25	11,0	24,3
35,3	46	2,0	2,09	10,2	25,1
32,8	40	1,5	1,39	6,8	26,0
32,8	39	1,5	1,31	6,4	26,4
31,3	31	1,2	0,80	3,9	27,4
28,4	29	0,6	0,71	3,5	24,9
Med.					25,64

$$\rho = -0,37 \pm 0,18; \lambda = 1,11 \pm 0,11;$$

Ur 12 observationer har erhållits

$$a = 25,38 \pm 0,56; bi = 4,97 \pm 0,33; b = 1,01;$$

$$e_1 = 24,60; e - e_1 = 1,04.$$

$$\rho i = 1,81.$$

$$\text{Diff.} = 0,77.$$

Tab. V. $i = 5,50$ amp.; $x = 0,16$ ohm.

p'	α	l	X	Xi	e
36,5	45	2,5	1,95	10,7	25,8
33,6	41	1,9	1,49	8,2	25,4
34,1	42,5	2,0	1,64	9,0	25,1
32,7	36	1,7	1,09	6,0	26,7
31,7	37,5	1,5	1,19	6,5	25,2
32,2	39,5	1,6	1,35	7,4	24,8
30,8	35,6	1,3	1,06	5,8	25,0
31,7	38,5	1,5	1,27	7,0	24,7
40,4	50	3,3	2,84	15,6	24,8
29,3	33	1,0	0,91	5,0	24,3
Med.					25,18

$$\rho = -0,22 \pm 0,08; \lambda = 0,84 \pm 0,04;$$

Ur 11 observationer har erhållits

$$a = 24,51 \pm 0,27; bi = 4,80 \pm 0,14; b = 0,87;$$

$$e_1 = 23,63; e - e_1 = 1,55$$

$$\rho i = 1,21$$

$$\text{Diff.} = 0,34$$

Tab. VI. $i = 6,28$ amp.; $x = 0,16$ ohm.

p	α	l	X	Xi	e
28	34	1,9	0,96	6,0	22,0
29	41	2,2	1,49	9,4	19,6
26	26,5	1,5	0,63	4,0	22,0
25	28	1,3	0,67	4,2	20,8
27	30	1,8	0,75	4,7	22,3
30,5	39	2,5	1,31	8,2	22,3
26,5	31	1,5	0,80	5,0	21,5
				Med.	21,50

$$\rho = -0,46 \pm 0,23; \lambda = 0,69 \pm 0,13;$$

$$a = 19,50 \pm 0,34; bi = 4,37 \pm 0,18; b = 0,70;$$

$$e_1 = 18,50; e - e_1 = 3,00.$$

$$\frac{\rho i = 3,14.}{\text{Diff.} - 0,14.}$$

Tab. VII. $i = 6,28$ amp.; $x = 0,16$ ohm.

p'	α	l	X	Xi	e
36,9	42	2,0	1,59	10,0	26,9
36,9	41	2,0	1,49	9,4	27,5
35,2	39	1,6	1,31	8,2	27,0
32,6	33	1,0	0,91	5,7	26,9
41,4	48	3,0	2,42	15,2	26,2
				Med.	26,90

$$\rho = -0,06 \pm 0,08; \lambda = 0,75 \pm 0,04;$$

Ur 8 observationer har erhållits

$$a = 28,23 \pm 0,81; bi = 4,35 \pm 0,32; b = 0,69;$$

$$e_1 = 27,23; e - e_1 = -0,33.$$

$$\frac{\rho i = +0,38.}{\text{Diff.} - 0,71.}$$

Tab. VIII. $i = 8,38$ amp.; $x = 0,20$ ohm.

p'	α	l	X	Xi	e
30,7	30	1,4	0,75	6,3	24,4
29,0	26	0,9	0,59	4,9	24,1
32,8	35	2,0	1,02	8,5	24,3
32,1	34	1,8	0,96	8,0	24,1
35,5	38	2,8	1,23	10,3	25,2
Med.					24,42

$$\rho = + 0,10 \pm 0,04; \lambda = 0,35 \pm 0,02;$$

Ur 9 observationer har erhållits

$$a = 25,90 \pm 1,14; \quad bi = 3,44 \pm 0,16; \quad b = 0,42;$$

$$e_1 = 24,22; \quad e - e_1 = 0,20.$$

$$\rho i = 0,84.$$

$$\text{Diff.} = - 0,64.$$

Tab. IX. $i = 8,38$ amp.; $x = 0,20$ ohm.

p'	α	l	X	Xi	e
35,2	37,6	2,7	1,20	10,1	25,1
33,5	33	2,2	0,91	7,6	25,9
31,1	30	1,5	0,75	6,3	24,8
34,2	36	2,4	1,08	9,1	25,1
36,9	38	3,1	1,23	10,3	26,6
41,4	43	4,5	1,70	14,2	27,2
Med.					25,78

$$\rho = + 0,08 \pm 0,05; \lambda = 0,32 \pm 0,02;$$

p' är beräknad efter värdena på a och bi i Tab. VIII.

$$e_1 = 24,22; \quad e - e_1 = 1,56.$$

$$\rho i = 0,67.$$

$$\text{Diff.} = + 0,89.$$

Observationerna i Tabellerna II, IV, V, VII och VIII äro gjorda med samma kol-elektroder. I de öfriga observationsserierna hafva deremot andra elektroder användts.

Låt i ett koordinatsystem den ena axeln beteckna båglängden l och den andra motståndet $m = X - x$. Om man ur de ofvan gifna observationsserierna bestämmer de punkter, som motsvara de erhållna båglängderna och motstånden, så finner man, att dessa punkter ligga på en rät linie, men denna går i allmänhet ej genom origo utan träffar den negativa m -axeln. Jag har med ρ betecknat afståndet mellan denna punkt och origo.

Enär ρ är negativ för strömmar under 7 ampère och m naturligtvis är $= 0$, då $l = 0$, så visar detta, att $\frac{\partial m}{\partial l}$ ej är konstant och att alltså för dessa strömstyrkor

motståndet ej är proportionellt mot båg längden. För båg längder mellan 0 och 1 mm. växer $\frac{\partial m}{\partial l}$ med båg längden, men synes sedan blifva konstant. Af särskildt intresse hade det därför varit, om jag kunnat observera motståndet vid små båg längder. Detta har likväl ej lyckats, beroende derpå, att bågen blir hväsande. Det synes nämligen, som om för en bestämd strömstyrka en viss båg längd finnes, så beskaffad, att om båg längden göres mindre än denna, ljusbågen blir hväsande. Denna båg längd är större vid starkare strömstyrkor än vid svagare.

Värdet på ρ aftager vid tilltagande strömstyrka och vid de elektroder, jag användt, kan man anse att $\rho = 0$ redan vid 6 à 7 ampère. Det är således först vid dessa strömstyrkor, som motståndet blir proportionellt mot båg längden. Vid observationerna med $i = 8,38$ ampère hafva erhållits små positiva värden på ρ , hvilket dock torde bero på något fel i bestämningen af x .

Motståndet i ljusbågen inom det område, jag observerat, har jag emellertid antagit kunna uttryckas medelst formeln $m = \rho + \lambda l$, der λ alltså är tillökningen i motståndet, då ljusbågens längd ökas med 1 mm. Ur de gjorda observationerna hafva medelst minsta qvadratmetoden ρ och λ beräknats. Dessa tal finnas angifna nedan för hvarje tabell.

Då motståndet i ljusbågen vid svagare strömstyrkor ej är proportionellt mot båg längden, utan till en början växer långsammare med båg längden än sedan, så måste deraf följa, att, om man medelst mätningar af potentialdifferensen mellan elektroderna vid dessa strömstyrkor bestämmer den elektromotoriska motkraften i ljusbågen, man alltid får ett för litet värde på denna. Skilnaden mellan de på de två olika sätten erhållna elektromotoriska krafterna bör bli ρi . Det fel, som man begår, om elektromotoriska kraften beräknas medelst potentialmätningar, kan vid de elektroder, jag användt, och vid $i = 4,18$ ampère uppgå ända till 3 à 4 volt.

För jämförelsens skull har jag äfven observerat potentialskilnaden. I tabellerna I, II, III och VI äro dessa gjorda samtidigt med motståndsmätningarne. Vid de öfriga observationerna har, sedan motståndsbestämningarne blifvit gjorda, potentialskilnaden särskildt bestämts vid olika båg längder och vid samma strömstyrka som vid motståndsbestämningarne. Medelst minsta qvadratmetoden har ur formeln $p = a + bi$ koefficienterna a och b beräknats. I tabellerna IV, V, VII, VIII och IX är med dessa värden på a och b potentialskilnaden beräknad för de båg längder, som användts vid bestämningen af motstånden. Denna potentialskilnad har betecknats med p' .

För att erhålla den elektromotoriska kraften måste man emellertid från a subtrahera det potentialfall xi , som förorsakats af motståndet i elektroderna och ledningstrådarne i sidan bc . Med e_1 är skilnaden $a - xi$ betecknad, som alltså borde vara den elektromotoriska kraften beräknad medelst potentialmätningar. Det visade sig, att alltid $e_1 < e$ och skilnaden $e - e_1$ inom felgränserna är lika med ρi .

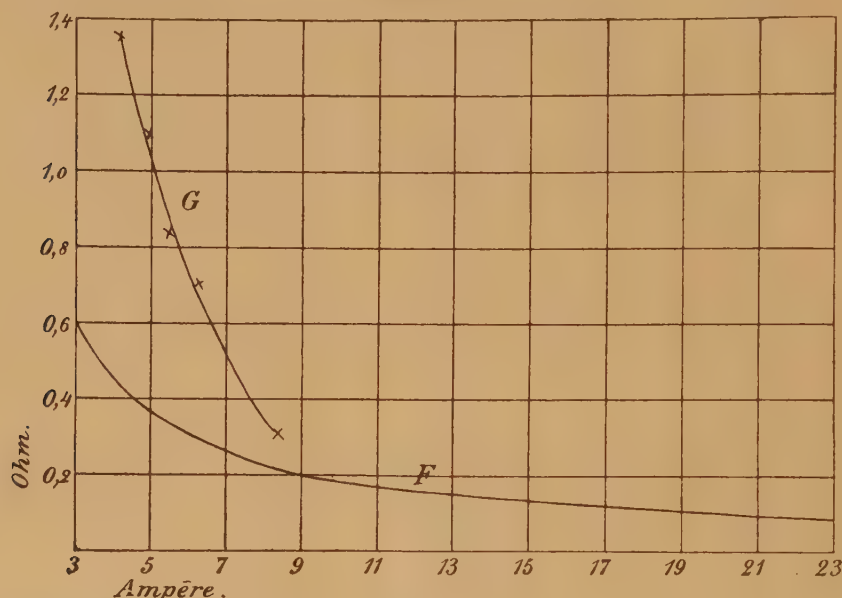
Undersöker man de bestämningar, som af olika experimentörer blifvit gjorda öfver den elektromotoriska kraften i ljusbågen, så finner man, att e_1 alltid är mindre

än e , så snart den använda strömstyrkan varit svag. Sålunda har VON LANG ur sina mätningar af elektromotoriska kraften med en Wheatstones brygga (se ofvan) erhållit för kol 36,94 volt och för koppar 27,60 volt. Ur potentialmätningar med en strömstyrka af 3 å 4 ampère erhöill han för kol 35,07 volt och för koppar 23,86 volt. ARONS erhöill likaledes med sin metod tvänne stora värden på motkraften i bågen, nämligen 40,6 och 39,6 volt. Att FRÖLICH vid sina mätningar erhållit så högt värde som 39 volt på den elektromotoriska kraften, beror derpå, att han använt strömmar af ända till 120 ampère.

Ur båda metoderna har erhållits ungefär samma värde på tillökningen af motståndet, då båglängden ökas med 1 mm.

Såväl de undersökningar, hvilka jag företagit öfver motstånden vid olika strömstyrkor, som ock NEBELS samt CROSS' och SHEPARDS undersökningar visa, att motståndet minskas hastigare än strömmen ökas. Det är först vid ganska ansehlga strömstyrkor, som motståndet synes blifva omvänt proportionellt mot strömstyrkan. Enligt FRÖLICH skulle vi mellan 4 och 120 ampère hafva $mi = 1,8$ för kolljusbågen. Denna relation torde emellertid gälla endast för strömstyrkor öfver 20 å 30 ampère. För jemförelsens skull har jag i Fig. 3 uppritat de kurvor, som representera motståndets förändring med strömstyrkan enligt mina och FRÖLICHs observationer.

Fig. 3.



F betecknar den kurva, som erhålles ur FRÖLICHs formel $mi = 1,8$, och G den kurva, jag erhållit ur mina observationer med positivt kol af 20 mm. och negativt af 11 mm. i diameter.

Enligt NEBELS observationer ökas motståndet i en kolljusbåge, om elektrodernas diameter ökas. Äfven motståndet synes därför vara beroende af temperaturen på elektroderna.

Hvad storleken af den elektromotoriska kraften beträffar, har jag erhållit ett betydligt lägre värde än det, som uppgifvits i föregående undersökningar. Orsaken härtill beror med all sannolikhet derpå, att de dochtkol. jag användt, hafva innehållit jämförelsevis stora kvantiteter salter. Ur de olika observationsserierna hafva erhållits mycket olika värden på den elektromotoriska kraften. Detta beror dels derpå, att ej samma elektroder användts hela tiden, dels ock derpå att elektromotoriska kraften haft olika värden i olika delar af samma elektrod. Någon regelbunden förändring af elektromotoriska kraften med strömstyrkan har därför ej kunnat iakttagas.

II. Den elektriska energiabsorptionen och värmeutvecklingen.

Ändamålet med nedanstående bestämningar öfver värmeutvecklingen i ljusbågen var att undersöka, om denna värmeutveckling endast uppkommer till följd af det Jouleska värmet eller om den energi, som förbrukas till följd af den elektromotoriska motkraften, äfven förvandlas till värme.

För att bestämma temperaturen i kolljusbågen har DEWAR ¹⁾ undersökt värmestrålningen från en dylik ljusbåge. Han fann sålunda vid ett försök, att värmestrålningen under 1 minut var 340 gr. cal. d. v. s. ungefär 5,6 gr. cal. per sekund. Då temperaturen är betydligt lägre i metall-ljusbågarne, ansåg jag det ej omöjligt att kunna betydligt inskränka utstrålningen, om man använde dylika ljusbågar med lämpliga dimensioner på elektroderna och små båglängder samt svag strömstyrka. Under sådana förhållanden borde det mesta värmet qvarstanna på elektroderna, och det vore därför ej omöjligt att bestämma värmeutvecklingen i ljusbågen genom att kalorimetriskt mäta värmemängden på elektroderna.

Jag har vid dessa försök af flera skäl valt kopparelektroder. En kopparljusbåge brinner ytterst stadigt. Elektroder förtäras mycket långsamt, så att båglängden äfven efter en ganska lång tid ej märkbart förändras. Till följd häraf blifva variationerna i strömstyrkan mycket små, hvilket vid dessa försök är af den största vikt. Dertill kommer, att kopparelektroderna äro goda värmeledare, och att kopparljusbågen har en elektromotorisk kraft af endast 24 volt, hvilket gör, att temperaturen i denna ljusbåge är jämförelsevis låg.

Enligt v. LANGS undersökningar är elektromotoriska kraften i kopparljusbågen 23,86 volt och motståndet 0,67 ohm. Om vi antaga t. ex. båglängden vara 2 mm. och strömstyrkan 5 ampère, så borde det Jouleska värmet uppgå till omkring 8 gr. cal. per sekund, då deremot hela energiabsorptionen uppgår till 36,6 gr. cal. per sekund. Det hela kom således an på att i detta fall bestämma, om i ljusbågen förefans en värmeutveckling på 8 gr. cal. eller 36,6 gr. cal. per sekund.

¹⁾ DEWAR, Proc. Roy. Soc. 30, p. 85, 1880; Beibl. 4, p. 482.

De vid dessa försök använda elektroderna voro tvänne kopparcylindrar om ungefär 92 mm. längd och 15 mm. diameter. Den ena, som vi beteckna med I, vägde 139,5 gr., den andra, II, vägde 138,0 gr. Båda voro i ena ändan svarfvade runda. Af den andra ändan var deremot på en längd af 21 mm. en del af kopparen bortsvarfvad, så att diametern här var 10 mm. Ungefär midt på hvarje elektrod var en järntråd — 16 cm. lång och 2 mm. i diameter — fastskrufvad vinkelrät mot cylinderns axel. Denna järntråd användes till att fasthålla elektroderna, när de neddoppades i kalorimetern.

Kopparcylindrarne kunde fastsättas i tvänne messingrör, derigenom att den ursvarfvade delen af cylindern insköts i messingröret. Dessa åter löpte i tvänne horisontelt samt i samma linie ställda metallhylsor. Härigenom kunde elektroderna skjutas fram och tillbaka. När en af dem skulle löstagas från messingröret, gick jag tillväga på följande sätt. Med ena handen fasthöll jag järntråden och förde med den andra messingröret bakåt, så att kopparcylindern, som af hylsan hindrades att medfölja, gled ur messingröret. På detta sätt kunde elektroderna bekvämt och hastigt löstagas.

Vid messingrören voro poltrådarne från 40 accumulatorer fastlödda. Ledningen innehöll förutom nödiga motstånd äfven det ofvan omtalade motståndet på $\frac{1}{99}$ ohm. Medelst en omkastare kunde den Siemenska torsions-galvanometern förbindas antingen med detta motstånd eller med elektroderna. I förra fallet mäter man strömstyrkan, i senare fallet deremot potentialdifferensen mellan elektroderna. Anordningen dervid var densamma som vid observationerna i afdelning I.

Vid försöken gick jag tillväga på följande sätt. Sedan elektroderna blifvit insatta och skjutna mot hvarandra, slöts strömmen. Elektroderna aflägsnades nu några mm. från hvarandra, och med ett variabelt motstånd ändrades intensiteten hos strömmen, tills den önskade strömstyrkan erhållits, och hölls sedan konstant under försökets lopp.

Sedan strömstyrkan observerats, omlades omkastaren och potentialdifferensen bestämdes. Derefter omlades omkastaren ånyo för att undersöka, om strömstyrkan ändrats. Om så varit förhållandet, hvilket dock sällan inträffade, ändrades motståndet i ledningen tills strömmen fått den bestämda intensiteten. Så många gånger jag kunde medhinna under försökets lopp, bestämdes på detta sätt strömstyrkan och potentialdifferensen. Den tid, under hvilken ljusbågen brann, bestämdes medelst ett ur, hvars gång förut var kontrollerad. Sedan strömmen öppnats, löstogos elektroderna och nedfördes i hvar sin kalorimeter med destilleradt vatten. Ur den härvid observerade temperaturhöjningen hafva värmemängderna på elektroderna beräknats.

Kalorimetrarne bestodo af tvänne messingcylindrar 11,5 cm. höga och 11 cm. i diameter. Den ena cylindern (A) vägde 166,5 gr. den andra (B) 164,5 gr. Deras vattenvärde var 12 gr. cal. hvardera. Båda innehöllo under försöken 400 gr. vatten samt en termometer, som var graderad i $\frac{1}{5}^{\circ}$ C.

I nedanstående tabell betyder T tiden i sekunder, som bågen brunnit; $t - t_1$ temperaturhöjningen hos kalorimetern; q_1 den i kalorimeter A och q_2 den i kalo-

rimeter B funna värmemängden. I betecknar strömstyrkan samt p potentialdifferensen mellan elektroderna. Ur den erhållna värmemängden $q_1 + q_2 = Q$ har potentialdifferensen p' mellan elektroderna beräknats ur formeln

$$p' = \frac{4,17 Q}{II}.$$

I sista kolumnen finnes differensen $p - p'$. Under försöket har elektrod I varit katod och elektrod II anod.

Tab. X.

N:o	T	Kal. A		Kal. B		$q_1 + q_2$	I	p	p'	$p - p'$
		$t - t_1$	q_1	$t - t_1$	q_2					
1	30	1,60	659 (II)	1,25	515 (I)	1174	4,70	35,0	34,72	+ 0,28
6	30	1,50	618 (I)	2,10	865 (II)	1483	7,50	28,0	27,48	0,52
7	30	1,50	618 (I)	2,15	886 (II)	1504	7,50	28,5	27,87	0,63
8	30	1,40	577 (I)	2,10	865 (II)	1442	7,00	29,2	26,63	0,57
2	60	3,05	1257 (II)	2,30	947 (I)	2204	4,75	34,0	32,25	1,75
5	60	3,00	1236 (I)	4,40	1813 (II)	3049	6,50	33,6	32,60	1,00
3	90	3,20	1318 (I)	4,50	1854 (II)	3172	4,75	34,0	30,94	3,06
4	120	3,83	1578 (I)	5,65	2328 (II)	3906	4,70	34,1	28,88	5,22

Af dessa försök framgår tydligen, att hela den i ljusbågen förbrukade elektriska energien förvandlas till värme. Om det elektriska arbete, som i bågen förbrukas till följd af den elektromotoriska kraften, direkt förvandlas till värme, eller om detta uppträder först som en sekundär följd af någon annan orsak såsom t. ex. ett sönderlitningsarbete, som EDLUND antog, kan man emellertid ej af ofvanstående försök afgöra.

Den värmemängd, som uppsamlats på anoden, har alltid varit större än den, som uppsamlats på katoden. Värmestrålningen har i medeltal under de första 30 sekunderna varit 0,9 gr. cal. per sekund.

Jag har äfven försökt att bestämma värmeutvecklingen i en kolljusbåge, men dervid fått denna att blifva ibland större, ibland mindre än den elektriska energiabsorptionen. Också är förloppet i kolljusbågen betydligt mera kompliceradt än i kopparljusbågen. Förutom att kolelektroderna hastigt förbrukas, och alltså bågglängden under försöket ökas, syntes äfven elektromotoriska kraften förändras under försöket. Följden häraf blef den, att hastiga variationer förefunnos såväl i strömstyrkan som i potentialskillnaden mellan elektroderna. Läger man härtill den stora värmestrålningen och uppträdandet af en del sekundära processer såsom elektrodernas och kolgasens förbränning till kolsyra, så kunde man knappast vänta sig några exakta bestämningar på detta sätt.

III. Elektromotoriska kraften efter strömafbygningen.

Af de ofvan anförda undersökningarne hafva vi sett, att i den elektriska ljusbågen finnes en elektromotorisk motkraft, samt att den energi, som till följd af denna motkraft förbrukas i ljusbågen, i sista hand förvandlas till värme. Det yttre förloppet i den elektriska ljusbågen synes därför antyda tillvaron af en Peltiereffekt, analog med förhållandet vid en elektrisk ströms öfvergång från en metall till en annan eller från en metall till en vätska och tvärtom.

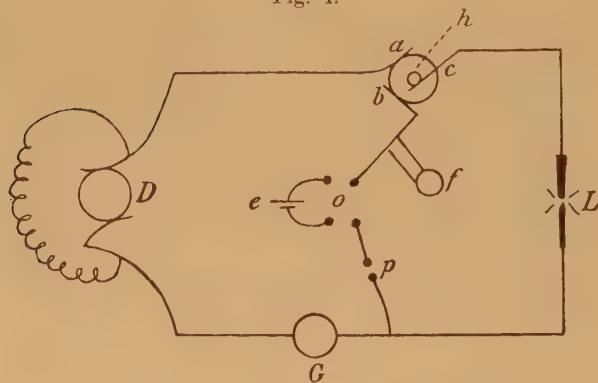
Om den elektromotoriska kraftens tillvaro beror derpå, att en Peltiereffekt förefinnes i ljusbågen, så borde man efter strömafbygningen kunna påvisa denna, då man ju ej gerna kan tänka sig, att temperaturen på elektroderna skulle kunna utjemnas under loppet af några få hundra sekunder.

Mot EDLUNDS och LUGGINS metod att efter strömafbygningen förbinda elektroderna med poltrådarne från en galvanometer kan anmärkas, att man ej med säkerhet kan afgöra, om ljusbågen verkligen existerar i det ögonblick, galvanometerledningen tillkopplas. För öfrigt hafva de båda två använt en galvanometer med sjelfinduktion och alltså erhållit en induktionsström, som sökt upphäfva den primära strömmen, för den händelse någon sådan gått genom galvanometern.

Mot metoden att kortsluta en shuntdynamo kan man visserligen ej göra den första af dessa anmärkningar, men metoden är, såsom jag i inledningen nämnt, ej heller fri från invändningar, då den förutsätter, att magnetismen i elektromagneterna skall försvinna omedelbart efter kortslutningen. De anordningar, man vid dessa metoder använt, synas mig också ej erbjuda någon högre grad af känslighet.

Jag har därför vid denna undersökning använt en sådan anordning, att jag med säkerhet har kunnat påvisa, att ljusbågen existerat under mätningen och att i galvanometerledningen ej någon sjelfinduktion förefunnits. Anordningen vid detta försök har därför varit följande.

Fig. 4.



D (se fig. 4) är en Siemens shuntdynamo, *G* är en d'Arsonvals galvanometer och *L* ljusbågen. *e* är ett Daniels element, *o* en strömvändare, genom hvilken strömriktningen från elementet *e* kan omkastas. *p* är ett qvicksilfverkontakt, samt *f* en galvanometer utan sjelfinduktion, som står i en biledning till ledningen *ob*. *a*, *b* och *c* äro trenne borstar af metall, som släpa på hjulet *h*.

Detta senare består af tvenne lika stora och med hvarandra fast förenade hjul, det ena af metall och det andra af ebonit. Båda kunna rotera omkring samma axel.

Hjulets omkrets var 235,5 mm. På metallhjulets periferi fanns på ett ställe en större fördjupning fylld med ebonit och upptagande en längd af 34 mm. af omkretsen. På detta hjuls periferi släpade borsten *a*, då deremot borsten *c* släpade på dess axel. Denna senare låg därför alltid i kontakt med metallhjulet.

Hjulet *h* sattes i rotation af en elektromotor, som drefs af strömmen från 20 accumulatorer. Strömmen från dynamon gick då från borsten *a* till metallhjulet och derifrån genom borsten *c* till ljusbågen *L* och tillbaka till dynamon. En gång under hvarje hvarf hos hjulet var emellertid strömmen en kort tid afbruten, nämligen då borsten *a* gled öfver ebonitstycket på metallhjulet. Genom att gifva hjulet tillräcklig rotationshastighet kunde man emellertid göra den tid, under hvilken afbrottet varade, så liten, att ljusbågen ej hann slockna, utan brann lugnt och stadigt.

På ebonithjulet var äfven ett stycke upptagande en längd om 21 mm. på periferien borttaget och fördjupningen fylld med messing, som stod i ledande förbindelse med metallhjulet. Borsten *b* släpade på omkretsen af ebonithjulet och var fästad på sådant sätt, att dess tangeringspunkt med ebonithjulet kunde medelst en skruf förskjutas ett stycke utefter periferien. Borstens *b* tangeringspunkt valdes nu så, att, när borsten *a* släpade på ebonitstycket å metallhjulet, borsten *b* släpade på metallstycket å ebonithjulet. När därför strömmen från dynamon var afbruten, var ledningen *hcLpob* sluten.

Det var naturligtvis nödvändigt att låta dynamoströmmen vara afbruten längre tid än galvanometerledningen var sluten. Derfor upptog ebonitstycket en längd af 34 mm. på metallhjulets omkrets, under det att messingstycket upptog en längd af 21 mm. på ebonithjulets omkrets. Dynamoströmmen var då afbruten öfver 1,5 gånger så lång tid, som galvanometerledningen var sluten. Genom att förskjuta borsten *b* och gifva hjulet *h* olika rotationshastighet kunde man efter behag bestämma den tid, som skulle förflyta mellan dynamoströmmens öppnande och galvanometerledningens slutande.

Den vid dessa försök använda galvanometern *f* var en af mig konstruerad galvanometer, som grundar sig på principen om den unipolara induktionen ¹⁾. Då denna galvanometer icke innehåller några trådspiralerna, kan den anses fri från själfinduktion. Galvanometerens utslag observerades medelst tub och skala på vanligt sätt. Afståndet mellan galvanometern och skalan var ungefär 1,5 meter. Ett galvanometerutslag på en skaldel motsvarade en strömstyrka i galvanometern af ungefär $5,6 \cdot 10^{-6}$ ampère.

Gången vid försöket var följande. Sedan hjulet *h* satts i rörelse och elektroderna skjutits mot hvarandra, påsläpptes strömmen från dynamon. Sedan derefter en ljusbåge bildats mellan elektroderna, slöts strömmen från elementet *e* med qvicksilfverkontaktet *p*. Jag erhöll då i galvanometern ett utslag U_1 , derefter omkastades strömrättningen medelst strömvändaren *o* och utslaget U_2 observerades. Finnes i ljusbågen en elektromotorisk kraft *E*, så är, om *e* betecknar elektromotoriska kraften i elementet,

¹⁾ GRANQVIST, Lunds Univ. Årsskrift 28; Beibl. b. 17, p. 146, 1893.

$$E = \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} \cdot e.$$

Hjulets h rotationshastighet mättes med en slagtäljare, som var fastsatt vid hjulets axel. Tiden, som förflöt mellan öppnandet af dynamoledningen och tillkopplandet af galvanometerledningen, bestämde jag på följande sätt. Antag att hjulet gör n omlopp under en sekund. Den tid hjulet behöfver för att vrida sig en vinkel, som på periferien upptager en båge af en mm:s längd, är då $\frac{1}{235,5n}$ sekunder. Vi antaga vidare, att man behöfver vrida hjulet h en vinkel, som på periferien upptager en cirkelbåge af α mm., från det borsten a börjat släpa på ebonitstycket, till dess borsten b släpar på messingstycket. Tiden mellan dynamoströmmens öppnande till galvanometerledningens slutande är då $\frac{\alpha}{n \cdot 235,5}$ sekunder. Härvid är dock att märka, att vid dynamoströmmens afbrytande en liten ljusbåge bildas mellan metallhjulet och borsten a . Strömmen från dynamon kan därför ej anses upphöra, förr än denna ljusbåge slocknat. Längden af denna metall-ljusbåge, som är olika vid olika strömstyrkor, kan ganska noga mätas. Om vi antaga den vara β mm., så är tiden mellan galvanometerledningens slutande och dynamoströmmens fullständiga upphörande $\frac{\alpha - \beta}{n \cdot 235,5}$ sekunder.

Innan de egentliga observationerna togo sin början, gjorde jag följande förberedande försök i afsigt att undersöka, om några felaktigheter förefunnos i anordningen.

Lampan L borttogs och i dess ställe insattes en nickeltråd, hvars motstånd var 4,7 ohm samt ett variabelt motstånd på 7 ohm. Sedan hjulet h satts i gång och strömmen från dynamon slutits, observerade jag galvanometerutslagen. Härvid erhöj jag, då strömriktningen från elementet e omkastades, lika stora utslag åt båda sidor. Med det variabla motståndet varierades intensiteten hos dynamoströmmen.

I nedanstående tabell betyder I strömstyrkan i ampère hos dynamoströmmen samt U_1 och U_2 utslagen åt den positiva och negativa sidan, då strömvändaren omkastades.

Tab. XI.

I	U_1	U_2
3,0	+ 9,5	— 10,0
4,0	10,5	10,5
5,0	11,5	11,1
8,3	30,7	29,5

Hjulets hastighet var 1000 hvarf på 59 sekunder, samt $\alpha = 7,5$ mm. Tiden mellan dynamoströmmens öppnande och galvanometerledningens slutande beräknas härur till 0,001 sek. Storheten β hade vid detta försök ej observerats.

Derefter borttog jag äfven elementet e , så att $boLc$ blef en sluten ledning med mycket litet motstånd. Det visade sig då, när försöket gjordes på nytt, att jag erhöll små positiva utslag med all sannolikhet beroende derpå, att någon termoelektrisk kraft uppstått, der borstarne släpade mot hjulet. Gjordes $\alpha < \beta$, så erhöll jag naturligtvis kraftiga strömmar i galvanometerledningen och skalan gick ur tubens synfält. Dessa försök visa emellertid, att någon nämnvärd sjelfinduktion ej förefinnes i galvanometerledningen.

Vid ett följande försök hade det Danielska elementet införts på sin plats, nickeltråden och det variabla motståndet borttagits och i deras ställe 5 accumulators-element inkopplats. Då dynamoströmmen var sluten, laddades accumulatorerna; när galvanometerledningen deremot var sluten, urladdades de. Med den ofvan anförda metoden bestämdes nu elektromotoriska kraften E hos accumulatorerna. Elektromotoriska kraften hos det Danielska elementet är i det följande antaget till en volt.

Tab. XII.

N:o	t	U_1	U_2	E
1	0,0006	+ 79	+ 65	10,21
2	0,0021	159	130	9,97
3	0,0034	165	135	10,00
4	0,0015	155	127	10,01

t är här tiden mellan dynamoströmmens öppnande och galvanometerledningens slutande beräknad efter formeln $t = \frac{\alpha}{235,5 \cdot n}$. Strömstyrkan från dynamon hade under försöken varierats mellan 7 och 12 ampère.

Jag öfvergick nu till den egentliga undersökningen. Accumulatorerna frånkopplades och i deras ställe insattes bågglampan. Denna bestod endast af ett stativ, i hvilket elektroderna kunde fastskrufvas och medelst skrufvar förskjutas mot hvarandra eller aflägsnas från hvarandra. Elektroderna voro kolstänger. Anoden bestod af ett dochtkol 22 mm. i diameter och katoden af ett homogent kol 13 mm. i diameter. Strömstyrkan varierade under försöket mellan 3,2 och 8,9 ampère och båglängden mellan 3 och 4 mm. Hjulets hastighet var 1000 hvarf på 50 sekunder och $\alpha = 8$ mm. Härur beräknas tiden mellan hufvudströmmens afbrytande och galvanometerledningens tillkoppling till 0,0017 sekunder. Då metalljusbågens längd β i medeltal var 4 mm., var alltså tiden mellan hufvudströmmens fullständiga upphörande och galvanometerledningens slutande omkring 0,0009 sek.

Tab. XII.

I	U_1	U_2	ϵ
6,2	+ 30,0	— 18,1	0,27
6,2	24,0	14,1	0,26
5,0	22,0	13,5	0,26
5,2	23,8	14,5	0,24
3,2	19,7	11,5	0,26
7,5	20,2	13,5	0,20
5,6	14,4	10,0	0,20
8,9	14,5	17,7	0,11
5,0	20,5	12,7	0,23
4,0	17,0	10,5	0,24
Med.			0,227 volt.

Detta försök gifver således samma resultat som LECHERS, LUGGENS och STENGERS undersökningar d. v. s., att den elektromotoriska kraften i ljusbågen upphör, på samma gång strömmen i ljusbågen afbrytes. Den stora elektromotoriska kraften i ljusbågen kan därför ej bero på någon Peltiereffekt. Den lilla elektromotoriska kraft på 0,227 volt, som jag erhållit 0,0009 sekunder efter strömmens öppnande, är deremot med all sannolikhet af termoelektriskt ursprung.

IV. Elektromotoriska kraften, ledningsmotståndet och kraterytorna i kolljusbågen.

I en elektrisk kolljusbåge, som brinner i luft eller i någon annan gas, kan man särskilja trenne delar, nämligen innerst en lysande kärna, utanför denna en mörk mantel samt ytterst ett svagt lysande omhölje. Den inre lysande kärnan är den för elektriciteten egentligen ledande delen af ljusbågen och består af glödande kolgas. Manteln omkring denna består äfven af kolgas, men som till följd af det omgifvande mediet blifvit så afkyld, att den ej vidare glöder. I omhöljet utanför manteln förbrinner kolgasen, i luft till kolsyra, i kolsyra till koloxid o. s. v. Bildas kolljusbågen deremot i en vätska, försvinner omhöljet.

Alla dessa tre delar lemna spår efter sig på kolelektroderne. Den inre lysande kärnan, i hvilken materievandringen försiggår, lemnar efter sig på anoden en rund fördjupning samt på katoden en merendels också rund upphöjning. Fördjupningen på anoden och upphöjningen på katoden hafva fått namn af kratrar.

Omkring kratrarne finnes såväl på anoden som på katoden en ljus ring, som synes bestå af små kulor af smält kiselsyra. På anoden är denna ring ytterst smal och framträder i allmänhet ej, då ljusbågen brinner i luft. Brinner ljusbågen i

andra gaser och i synnerhet i väte, framträder den deremot mycket tydligt. Ringen på katoden är ganska bred och framträder alltid. Utanför dessa ringar finnes på hvarje elektrod en svart ring, spåret efter manteln, och utanför denna ett ljusare fält, spåret efter omhöljet.

Den af dessa delar, som vid dessa undersökningar mest intresserar oss, är naturligtvis den inre för elektriciteten ledande, glödande delen af bågen. Denna är alltid bredast på midten och afsmalnar åt båda ändarne, dock så, att den del, som ändar på anoden, är bredare än den del, som ändar på katoden.

ANDREWS ¹⁾ har undersökt ytan af kratern på anoden i en kolljusbåge, der båglängden var $\frac{2}{16}$ eng. tum, och funnit den i det närmaste vara proportionel mot strömstyrkan i ljusbågen. Mig veterligt föreligga ej några andra undersökningar öfver kraterytorna i kolljusbågar.

Då motståndet i ljusbågen naturligtvis beror icke blott af båglängden utan äfven af bågens tvärgenomskärningsarea, har jag beslutit mig för att undersöka kraterytorna i samband med ledningsmotståndet. Enligt NEBELS undersökningar öfver motståndet i kolelektroder af olika diameter växer motståndet vid konstant båglängd och konstant strömstyrka, när diametern hos elektroderna ökas. Motståndet i ljusbågen synes därför liksom elektromotoriska kraften vara beroende äfven af temperaturen i bågen. För att om möjligt äfven variera temperaturen, men med bibehållande af samma strömstyrka, har jag därför utsträckt undersökningarne af kraterytorna och motstånden äfven till ljusbågar i gaser med olika värmeledningsförmåga. Jag har sålunda undersökt kolljusbågar i följande gaser: kolsyra, luft, lysgas och väte, hvilkas respektive värmeledningsförmåga är 0,59, 1,00, 2,67 och 7,10.

Då vid dessa undersökningar naturligtvis ej dochtkol lämpa sig, hafva såväl anoden som katoden varit homogena kolstänger af Siemens tillverkning med 11 mm:s diameter. Ljusbågen har alltid varit vertikal, och anoden har i allmänhet varit öfverst, men vid några försök hafva anoden och katoden fått byta plats. Anodens yta har före hvarje försök filats plan, katodens har deremot filats något konvex, på det att ljusbågen skulle bildas i elektrodernas centrum. Ljusbågen har vid försöken brunnit 1 à 2 min., och strömstyrkan har med ett variabelt motstånd under denna tid hållits konstant.

Diametern hos kraterytorna har uppmätts med en delningsmaskin. I allmänhet hafva tre diametrar, 120° från hvarandra, bestämts och medium af dem ansetts vara kraterytans diameter.

Då jag, såsom ofvan är nämdt, ej lyckats få dessa ljusbågar, der såväl anoden som katoden bestå af homogent kol, att brinna utan att gifva något ljud i en i en biledning inkopplad telefon, har jag måst bestämma motståndet och den elektromotoriska kraften genom mätningar af potentialdifferensen mellan elektroderna vid olika båglängder samt beräknat dessa storheter ur formeln $p = a + bi$, der p , a , b , i och l hafva samma betydelse som ofvan.

¹⁾ D. F. ANDREWS, I Tel. Eng. 9, p. 201, 1880; Beibl. 4, p. 682.

Innan undersökningarne öfver kraterytornas och motståndets förhållande till hvarandra kunde företagas, var det nödvändigt att undersöka, huru kraterytorna förändrades i en ljusbåge med konstant ström, men med variabel båglängd.

Observationerna häröfver, som äro gjorda med vertikala ljusbågar i atmosfärisk luft och med anoden öfverst, äro angifna i nedanstående tabell, der liksom i de följande tabellerna bokstäfverna *i*, *l* och *b* hafva samma betydelse som ofvan. Med *R* och *r* äro radierna hos anodens och katodens kraterytor betecknade.

Tab. XIV. *i* = 7,2 ampère.

N:o	<i>l</i>	<i>2R</i>	diff.	<i>2r</i>	diff.
2	1,3	3,54	— 0,06	1,68	+ 0,02
1	1,5	3,67	+ 0,07	1,68	+ 0,02
6	1,5	3,54	— 0,06	1,59	— 0,07
9	1,6	3,71	+ 0,11	1,70	+ 0,04
7	1,8	3,75	+ 0,15	1,75	+ 0,09
5	1,9	3,59	— 0,01	1,60	— 0,06
8	2,0	3,60	± 0,00	1,69	+ 0,03
12	2,0	3,60	± 0,00	1,74	+ 0,08
3	2,3	3,56	— 0,04	1,62	— 0,04
4	3,0	3,50	— 0,10	—	—
10	3,1	3,58	— 0,02	1,52	— 0,14
11	3,3	3,60	± 0,00	—	—
13	4,0	3,53	— 0,07	1,67	+ 0,01
Med.		3,598	Med.	1,658	

Någon förändring i kraterytornas storlek har sålunda med dessa observationer icke kunnat påvisas vid båglängder mellan 1 och 4 mm. Om någon sådan förändring förefinnes ligger den inom observationsfelens gränser.

Båglängder större än 4 mm. har jag ej kunnat erhålla. Vid båglängder mindre än 1 mm. har ljusbågen blifvit hväsande. En dylik båge har såväl mindre motstånd som större kraterytor än en tyst ljusbåge. Om strömmen afbrutits, under det bågen varit hväsande, synes ofta på anodens krateryta en liten upphöjning analog med kratern på katoden. Elektromotoriska kraften är äfven betydligt mindre i en dylik ljusbåge, som för öfrigt synes följa andra lagar än den tysta. Några mätningar öfver hväsande ljusbågar har jag därför ej företagit.

Då båglängden således ej inverkade något på kraterytornas storlek, har i de följande försöken, der olika strömstyrkor användts, den båglängd valts, vid hvilken ljusbågen brunnit lugnast.

För att beqvämt kunna erhålla ljusbågar i olika gaser var följande anordning vidtagen. I centrum af en cirkelformig och horizontelt stäld, plan messingskifva fans ett hål, i hvilket en messingstång kunde lufttätt skjutas upp och ned. Vid stångens nedra ända var den ena poltråden från accumulatorsbatteriet fastsatt och vid dess öfra ända den ena elektroden. Den andra elektroden var fastskrufvad vid en vid skifvan fastsatt vinkelrät böjd messingstång, hvilken äfven genomgick skif-

van, men var från henne isolerad. Med denna messingstång var den andra polen till accumulatorsbatteriet förenad. Båda elektroderna voro fastsatta vertikalt och ställda i samma vertikala linie.

När en ljusbåge skulle bildas i någon annan gas än luft, ställes på messing-skifvan en större glasklocka, så att elektroderna befunno sig inuti denna. Genom tvänne i skifvan fastsatta kranar kunde sedan den önskade gasen insläppas antingen i klockans nedre del eller ock i dess öfre del. Vid försöken med väte och lysgas har luften först utdrifvits med kolsyra och denna sedan med någon af de ofvan nämnda gaserna.

1. *Atm. luft.*

Tab. XV. Anoden öfverst.

i	R	R^2	$\frac{R^2}{i}$	bi	b	R^2b
3	1,28	1,64	0,55	5,0	1,67	2,75
4	1,55	2,40	0,60	5,0	1,25	3,00
5	1,69	2,86	0,57	4,8	0,96	2,74
6	1,77	3,13	0,52	4,9	0,82	2,55
7	2,05	4,20	0,60	4,5	0,64	2,70
8	2,24	5,02	0,63	4,5	0,56	2,84
9	2,46	6,05	0,67	4,1	0,46	2,75
10	2,63	6,92	0,69	4,0	0,40	2,76
11	2,77	7,67	0,70	4,0	0,36	2,80
12	2,90	8,41	0,70	4,0	0,33	2,80
Med.						2,77

Tab. XVI. Anoden öfverst.

i	r	r^2	$\frac{r^2}{i}$	bi	b	R^2b
4	1,04	1,08	0,27	5,0	1,25	1,35
5	1,17	1,37	0,27	4,8	0,96	1,30
7	1,50	2,25	0,32	4,5	0,64	1,44
8	1,52	2,31	0,29	4,5	0,56	1,31
9	1,86	3,46	0,38	4,1	0,46	1,56
10	1,87	3,50	0,35	4,0	0,40	1,40
12	2,05	4,20	0,35	4,0	0,33	1,40
Med.						1,39

Tab. XVII. Anoden nederst.

i	R	R^2	$\frac{R^2}{i}$	bi	b	R^2b
3,20	1,33	1,77	0,55	10	3,13	5,50
6,00	1,83	3,35	0,56	—	—	—
8,00	2,16	4,67	0,58	9	1,13	5,22
10,00	2,55	6,50	0,65	—	—	—
11,00	2,73	7,45	0,68	—	—	—
12,00	2,89	8,35	0,70	—	—	—
Med.						5,36

Tab. XVIII. Anoden nederst.

i	r	r^2	$\frac{r^2}{i}$	bi	b	r^2b
5	0,77	0,59	0,12	—	—	—
6	0,84	0,71	0,12	—	—	—
7	0,87	0,76	0,11	—	—	—
8	1,02	1,04	0,13	9	1,17	1,17
9	1,31	1,72	0,19	—	—	—
11	1,42	2,02	0,18	—	—	—
					Med.	1,17

2. Kolsyra.

Tab. XIX. Anoden öfverst.

i	R	R^2	$\frac{R^2}{i}$	bi	b	R^2b
4	1,54	2,37	0,59	4,8	1,20	2,83
5	1,70	2,89	0,58	5,0	1,00	2,90
6	1,90	3,61	0,60	4,8	0,80	2,88
7	2,00	4,00	0,57	4,5	0,64	2,57
8	2,20	4,84	0,61	4,5	0,56	2,75
9	2,46	6,05	0,67	4,0	0,44	2,68
10	2,59	6,71	0,67	4,0	0,40	2,68
11	2,90	8,41	0,76	4,0	0,36	3,04
12	2,89	8,35	0,70	4,0	0,33	2,80
					Med.	2,79

Tab. XX. Anoden öfverst.

i	r	r^2	$\frac{r^2}{i}$	bi	b	r^2b
4	1,06	1,12	0,28	4,8	1,20	1,34
5	1,19	1,42	0,28	5,0	1,00	1,40
6	1,26	1,59	0,27	4,8	0,80	1,30
7	1,38	1,90	0,27	4,5	0,64	1,22
8	1,62	2,62	0,33	4,5	0,56	1,49
9	1,53	2,34	0,26	4,0	0,44	1,04
10	1,70	2,89	0,29	4,0	0,40	1,16
11	1,77	3,13	0,28	4,0	0,36	1,12
12	2,00	4,00	0,33	4,0	0,33	1,32
					Med.	1,27

3. *Lysgas.*

Tab. XXI. Anoden öfverst.

i	R	R^2	$\frac{R^2}{i}$	bi	b	R^2i
6	1,15	1,32	0,22	8,0	1,33	1,76
7	1,27	1,61	0,23	8,0	1,14	1,84
8	1,42	2,02	0,25	7,5	0,94	1,88
9	1,53	2,34	0,26	7,0	0,78	1,82
10	1,58	2,50	0,25	7,0	0,70	1,75
11	1,82	3,31	0,30	6,0	0,55	1,80
12	1,90	3,61	0,30	6,0	0,50	1,80
Med.						1,87

Tab. XXII. Anoden öfverst.

i	r	r^2	$\frac{r^2}{i}$	bi	b	br^2
6	0,83	0,69	0,13	8,0	1,33	1,04
7	0,89	0,79	0,11	8,0	1,14	0,88
8	1,00	1,00	0,13	7,5	0,94	0,98
9	1,08	1,17	0,13	7,0	0,78	0,91
10	1,12	1,25	0,13	7,0	0,70	0,91
11	1,29	1,66	0,15	6,0	0,55	0,90
12	1,34	1,80	0,15	6,0	0,50	0,90
Med.						0,91

4. *Vätgas.*

Tab. XXIII. Anoden öfverst.

i	R	R^2	$\frac{R^2}{i}$	bi	b	R^2b
7	1,12	1,25	0,18	9,0	1,29	1,62
8	1,23	1,51	0,19	9,0	1,13	1,71
9	1,31	1,72	0,19	8,5	0,94	1,62
10	1,38	1,90	0,19	8,5	0,85	1,62
11	1,48	2,19	0,20	8,0	0,73	1,60
12	1,59	2,53	0,21	8,0	0,67	1,68
Med.						1,64

Tab. XXIV. Anoden öfverst.

i	r	r^2	$\frac{r^2}{i}$	bi	b	r^2b
7	0,77	0,59	0,08	9,0	1,29	0,72
8	0,85	0,72	0,09	9,0	1,13	0,81
9	0,92	0,85	0,09	8,5	0,94	0,77
10	0,96	0,92	0,09	8,5	0,85	0,77
11	1,06	1,12	0,10	8,0	0,73	0,80
12	1,10	1,21	0,10	8,0	0,67	0,80
Med.						0,78

5. *Elektromotoriska krafter i olika gaser.*

Tab. XXV.

<i>i</i>	Atm. luft.	Kolsyra.	Lysgas.	Vätgas.
3	35	—	—	—
4	33	33	—	—
5	33	33	—	—
6	32	33	24	—
7	32	32	—	23
8	32	—	24	—
9	31	31	24	23
10	31	—	—	—
11	30,5	—	24	23
12	30	30	24	23

De kratrar, som erhållits i lysgas och vätgas, hafva varit tydligare och alltså kunnat noggrannare mätas än de, som erhållits i luft och kolsyra. Hvad de negativa kratrarne särskildt beträffar, hafva de ofta varit oregelbundna. Det faller af sig sjelft, att alla sådana kratrar kasserats. Af hela antalet kratrar har jag af detta skäl måst kassera ungefär $\frac{1}{5}$ af de positiva och $\frac{2}{3}$ af de negativa.

Af ofvanstående observationer framgår, att förhållandena $\frac{R^2}{i}$ och $\frac{r^2}{i}$ växa vid tilltagande strömstyrka. Någon proportionalitet mellan kraterytorna och strömstyrkorna förefinnes således ej. Dessa förhållanden hafva mycket olika värden i de olika gaserna. Ju bättre ledande gasen varit för värmets, desto mindre har i allmänhet dessa förhållanden varit. Detta visar alltså, att kraterytornas storlek minskas, då ljusbågen afkyles.

Äfven motståndet för en bestämd strömstyrka och båglängd är för ljusbågar i de olika gaserna mycket olika. Såsom regel gäller här, att ju bättre ledande gasen varit för värmets och alltså kunnat starkare afkyla ljusbågen, desto större har också motståndet varit.

Ljusbågarne i kolsyra göra emellertid undantag härutinnan. Oaktadt kolsyrans värmeledningsförmåga endast är hälften så stor som den atmosfäriska luftens, har jag erhållit ungefär samma värden på kraterytorna och motstånden i kolsyra och luft. Orsaken härtill synes mig möjligen kunna förklaras på följande sätt. När en kolljusbåge brinner i atmosfärisch luft, är den till följd af såväl elektrodernas som kolgasens förbränning alltid omgifven af en atmosfär af kolsyra. Förhållandet borde därför i det närmaste gestalta sig på samma sätt, som om ljusbågen brunne i kolsyra.

Af undersökningarne framgår dessutom, att motstånden för en konstant båglängd äro omvänt proportionela mot kraterytorna. Låt b , R och r hafva samma betydelse som ofvan, så är $R^2b = k$ och $r^2b = k'$, der k och k' äro konstanter. I ofvanstående tabeller äro dessa värden på k och k' vid de olika försöken beräknade.

Att ANDREWS vid sina undersökningar funnit, att kraterytan på anoden i det närmaste är proportionel mot strömstyrkan, berodde alltså helt enkelt derpå, att motståndet är i det närmaste omvändt proportionelt mot strömstyrkan.

Konstanterna k och k' hafva haft olika värden i de olika gaserna. Ju bättre värmeledare gasen varit, desto mindre hafva också k och k' varit. Deremot är förhållandet $\frac{k'}{k}$ och alltså förhållandet mellan katodens och anodens krateryta ungefär detsamma i alla gaser, för så vidt elektrodernas läge varit detsamma. Ur de olika tabellerna erhålla vi nämligen följande värden på $\frac{k'}{k}$: i luft, anoden öfverst 0,50, anoden nederst 0,22; i kolsyra, anoden öfverst 0,45; i lysgas, anoden öfverst 0,50; i vätgas, anoden öfverst 0,48. Om anoden varit öfverst, äro såväl k och k' som ock förhållandet $\frac{k'}{k}$ större, än om katoden varit öfverst. I förra fallet är också motståndet mindre än i det senare.

De olika gaserna synas alltså inverka olika på ljusbågen allt efter deras värmeledningsförmåga. En ljusbåge, som under för öfrigt lika omständigheter bildas i olika gaser, har större tvärsnitt och mindre motstånd i de gaser, som äro dåliga värmeledare än i dem, som äro goda. Härvid är emellertid att märka, att de processer, som bero på kolgasens kemiska förening med den omgifvande gasen eller någon beståndsdel deraf, kunna betydligt omgestalta detta förhållande såsom t. ex. vid ljusbågar i luft.

Som man på förhand kunde vänta, har den beräknade elektromotoriska kraften varit mindre i de gaser, som varit goda värmeledare än i dem, som varit dåliga. Detta öfverensstämmer fullkomligt med de undersökningar, man gjort öfver elektromotoriska kraften, der elektroderna på ett eller annat sätt afkylts, och för hvilka jag i inledningen redogjort. Då emellertid den elektromotoriska kraften här blifvit bestämd genom potentialmätningar, äro de värden, jag erhållit, med all sannolikhet något för små. Skilnaden mellan de erhållna och sanna värdena på motkraften i ljusbågen torde på sin höjd uppgå till ett par volt.

I likhet med v. LANGS och ARONS' undersökningar gifva de försök, jag anställt öfver den elektriska ljusbågen, vid handen tillvaron af en elektromotorisk motkraft i ljusbågen. Resultaten af ofvanstående undersökningar äro dessutom:

1) Värdet på den elektromotoriska motkraften är under för öfrigt lika omständigheter olika i ljusbågar, som brinna i gaser med olika värmeledningsförmåga. Ju bättre gasen ifråga leder värmets, desto mindre är den elektromotoriska kraften. Denna synes därför vara beroende af temperaturen i ljusbågen och elektroderna.

2) På samma gång den elektriska strömmen afbrytes, försvinner den elektromotoriska kraften. Ätminstone har det ej lyckats mig att påvisa någon nämnvärd del deraf 0,0009 sek. efter strömbrytningen.

3) Den elektriska energi, som förbrukas till följd af den elektromotoriska motkraften i ljusbågen, förvandlas till värme.

4) Kolljusbågens tvärgenomskärningsarea och alltså kraternas storlek förändras med strömstyrkan och med värmeledningsförmågan hos den gas, som omgifver ljusbågen. Ju starkare strömstyrkan är och ju mindre ljusbågen afkyles af den omgifvande gasen, desto större äro kraternas och tvärgenomskärningsarean.

5) Det elektriska ledningsmotståndet i en kolljusbåge af konstant längd och i samma gas är omvänt proportionellt mot kraternas storlek.

6) Vid variabel båglängd och konstant strömstyrka är ledningsmotståndet i en vertikal kolljusbåge först vid starkare strömstyrkor proportionellt mot båglängden. Vid svagare strömstyrkor deremot växer ledningsmotståndet till en början långsammare än sedan med båglängden.

Min afsigt med dessa undersökningar har varit att skaffa mig en föreställning om det yttre förloppet i den elektriska ljusbågen. Ännu återstå obesvarade de båda spörsmålen om orsaken till den elektromotoriska kraften och materievandringen i ljusbågen. De undersökningar, som på senaste tider blifvit gjorda af ARRHENIUS och DE HEMPTIENNE m. fl., synas gifva vid handen, att gaser leda elektriciteten elektrolytiskt. Åtminstone är så förhållandet, om gasen är sammansatt. Svårt har man emellertid att tänka sig, huru en enkel gas såsom t. ex. kolgasen kunde sönderfalla i sina ioner. Men om så är förhållandet, står möjligtvis den elektromotoriska kraften i samband med ioniseringen. Jag har för afsigt att i denna riktning fortsätta mina undersökningar öfver den elektriska ljusbågen.

Lund, Fysiska Institutionen 1894.
